

Der CPC 100

Ein neu entwickeltes Gerät
zur Erkennung und Aufzeichnung
von Herzrhythmusstörungen
im Vergleich zum Stand
der Technik

1981
—

Martin Schuler
—



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der 1. Medizinischen Klinik der Technischen Universität München
Direktor: Prof. Dr. Blömer

Der CPC 100

Ein neu entwickeltes Gerät zur Erkennung und Aufzeichnung von
Herzrhythmusstörungen im Vergleich zum Stand der Technik.

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin an
der Ludwig Maximilians-Universität zu München.

vorgelegt von
Martin Schuler
aus
München
Jahr 1980

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Riecker
Mitberichterstatter:	Prof. Lüdertz
Dekan:	Prof. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 16.7.81



1. Einleitung	3
2. Allgemeines über Herzrhythmusstörungen	6
2.1. Störungen der Reizbildung	7
2.2. Störungen der Reizleitung	11
2.3. Rhythmusstörungen bei Gesunden und Kranken	14
3. Indikationen zur Langzeit-EKG-Überwachung	17
3.1. Koronare Herzerkrankung mit Verdacht auf HRS	18
3.2. Verdacht auf kardial bedingte zerebrale Insuffizienz	19
3.3. Verdacht auf intermittierende HRS unbekannter Genese	20
3.4. Sonstige zu Arrhythmien neigende Herzerkran- kungen	20*
3.5. Überwachung einer antiarrhythmischen Therapie	22
3.6. Überwachung von Schrittmacherpatienten	22
4. Technische Einrichtungen zur Langzeit-EKG-Über- wachung und deren diagnostische Aussagekraft	24
4.1. Elektroden und Ableitungstechnik	24
4.2. Arrhythmiecomputer	26
4.3. Telemetrie	31
4.4. Belastungs-EKG	32
4.5. Bandspeicher-EKG	36
4.5.1. Aufnahmegeräte	37
4.5.2. Dauer der Registrierung	38
4.5.3. Auswertegeräte	39
4.5.4. Diagnostische Aussagekraft	43

5. Der Cardio-Patho-Cord CPC 100 - ein neues Gerät zur Langzeit-EKG-Überwachung	46
5.1. Allgemeine Funktionsbeschreibung	46
5.2. Technische Beschreibung an Hand von Block- schaltbildern	51
5.3. Diagnostische Aussagekraft des CPC 100 im Ver- gleich zu herkömmlichen Langzeit-EKG-Aufnahme- geräten	59
5.4. Testreihen	62
5.4.1. Testreihe mit 65 Patienten in Bad Reichen- hall	62
5.4.2. Erprobung mit einem EKG-Simulator	72
5.4.3. Korrelation der vom CPC 100 gespeicherten Signale mit einem kontinuierlich aufzeich- nenden Trommelspeicher	75
5.4.4. Testung des CPC 100 im mobilen Einsatz	88
6. Abschließende Würdigung des CPC 100 im Vergleich zum Stand der Technik	95
7. Zusammenfassung	99
8. Literaturverzeichnis	101

1. Einleitung

Statistische Untersuchungen (24,22) in den Vereinigten Staaten haben aufgezeigt, daß die Mortalität auf Grund koronarer Herzerkrankungen trotz einer Reduktion der Mortalität im Krankenhaus nur unwesentlich zurückgegangen ist. Das ist darauf zurückzuführen, daß es große Schwierigkeiten bereitet, die oftmals nur sporadisch oder unter gewissen Voraussetzungen auftretenden diagnostischen Hinweise auf eine schwerwiegende Herzerkrankung, wie zum Beispiel Ischämien und Herzrhythmusstörungen bei einer ambulanten Untersuchung zu erkennen und zu dokumentieren.

Jeder praktisch tätige Arzt wird in zunehmendem Maß mit solchen Problemen konfrontiert; er muß zum Beispiel Rhythmusstörungen erkennen können und danach entscheiden, ob sie nur ein Begleitsymptom eines herzgesunden, vielleicht nervösen Menschen oder Ausdruck einer organischen Herzerkrankung sind und möglicherweise sogar ein potentielles Risiko für den plötzlichen Herztod darstellen. (43)

In den letzten Jahren wurden große Anstrengungen unternommen, die technischen Hilfsmittel zur Erkennung von Herzerkrankungen zu verbessern. Neue Erkenntnisse über die Häufigkeit, Art und Gefährlichkeit von Herzrhythmusstörungen brachte vor allem die Langzeit- Elektrokardiographie mittels stationärer oder mobiler Bandspeichergeräte.

In kardiologischen Intensivstationen benützt man zur Überwachung akut herzkranker Patienten stationäre Bandspeichergeräte in Verbindung mit Arrhythmiecomputern. Durch Studium und Analyse der über längere Zeit aufgezeichneten Informationen konnte zum Beispiel nachgewiesen werden, daß Rhythmusstörungen beim frischen Herzinfarkt viel häufiger vorkommen als früher angenommen wurde.

Zur Überwachung nicht akut gefährdeter oder ambulanter Patienten sind kleine, am Körper tragbare Magnetbandspei-

chergeräte im Gebrauch, mit denen die Herztätigkeit fortlaufend bis zu einer Dauer von 30 Stunden aufgezeichnet werden kann.

Die Wiedergabe der gespeicherten Information geschieht mit speziell dafür ausgelegten Auswertegeräten mit 20 - 60-facher Zeitraffung. Arrhythmieanalyseeinheiten erlauben auf Grund vorher einzustellender Kriterien eine halbautomatische Auswertung. Da der Patient während der Aufnahme seinen normalen Tätigkeiten nachgeht, können Rhythmusstörungen erfaßt werden, die einer Untersuchung in Ruhe oder unter gezielter Belastung entgehen.

Leider ist die Langzeit-Elektrokardiographie wegen des hohen Anschaffungspreises für die technischen Hilfsmittel und des relativ großen Zeitbedarfs der Untersuchungstechnik bis heute auf wenige, speziell dafür eingerichtete Schwerpunktskliniken beschränkt geblieben.

Es liegt daher auf der Hand, sich neue Wege zu überlegen, die eine breitere Anwendung der Langzeit-EKG-Überwachung ermöglichen können.

Der in dieser Arbeit vorgestellte Cardio-Patho-Cord CPC 100 soll als ein erster Schritt in dieser Richtung betrachtet werden.

Der CPC 100 ist ein Gerät zur Erkennung von Herzrhythmusstörungen. Er unterscheidet sich von den eingangs beschriebenen Gerätesystemen dadurch, daß bereits während der Aufnahme der Herztätigkeit am Körper des Patienten eine Datenselektion durchgeführt wird. Nur die von einer speziellen Auswerteelektronik als pathologisch erkannten Signale werden auf einem Magnetband abgespeichert. Auf diese Weise kann die Auswertezeit ähnlich verkürzt werden wie bei herkömmlichen, kontinuierlich aufzeichnenden Gerätesystemen, obwohl die Auswertung nicht mit Zeitraffung vorgenommen wird.

Die Wiedergabe der gespeicherten pathologischen Signalverläufe erfolgt mit Hilfe eines handelsüblichen EKG-Schreibers oder eines Sichtschirms.

Da keine zusätzlichen Auswertegeräte benötigt werden, kann der Anschaffungspreis des CPC 100 im Vergleich zu den eingangs beschriebenen Gerätesystemen um ein Vielfaches niedriger gehalten werden, was zu der Hoffnung berechtigt, daß die Langzeit-Elektrokardiographie auch in kleineren Krankenhäusern und in internistischen Fachpraxen eingeführt werden kann.

Im folgenden soll eine kurze pathophysiologische Einteilung der verschiedenen Herzrhythmusstörungen vorgenommen werden und die wichtigsten Indikationen zur Langzeit-EKG-Überwachung aufgezeigt werden.

Darauf folgt eine Beschreibung der verschiedenen heute gebräuchlichen technischen Einrichtungen zur Langzeit-Herzüberwachung mit einer Beurteilung der diagnostischen Aussagekraft der verschiedenen Geräte.

Im Hauptpunkt der Arbeit wird der neuentwickelte Cardio-Patho-Cord CPC 100 vorgestellt, seine Funktionstüchtigkeit in praktischen Versuchen überprüft und seine Anwendungsmöglichkeiten im Vergleich zum Stand der Technik aufgezeigt.

2. Allgemeines über Herzrhythmusstörungen

Drei elektrophysiologische Grundeigenschaften der Myokardzellen sind sowohl für den normalen Ablauf der Herzschlagfolge als auch für die verschiedenen Störungen des Herzrhythmus verantwortlich: die Automatie, die Erregbarkeit und die Fähigkeit zur Erregungsleitung (3).

Die rhythmische Schlagfolge des Herzens wird nicht von außen induziert, sondern das Herz besitzt selbst die Fähigkeit, sich rhythmisch zu kontrahieren. Diese Eigenschaft bezeichnet man als Automatie. Die Fähigkeit zur spontanen Erregungsbildung ist normalerweise auf bestimmte spezifische Gewebe des Myokards beschränkt.

Durch die in den Automatiezentren entstandene elektrische Erregung, wie auch durch künstliche Reize ist der Herzmuskel erregbar und antwortet mit einer Kontraktion. Die Kontraktion der einzelnen Muskelfaser erfolgt nach dem "Alles-oder-Nichts"-Gesetz, das heißt, sie ist immer maximal, wenn der Schwellenwert überschritten wird.

Die Fähigkeit der Erregungsleitung sorgt dafür, daß die Erregung von einer auf die andere Muskelzelle übertragen wird.

Darüber hinaus besitzt das Herz die spezifischen Gewebe des Reizleitungssystems, deren ausschließliche Aufgabe die Erregungsleitung ist.

Vom Sinusknoten, in dem der Kontraktionsreiz normalerweise entsteht - gesteuert von Vagus- und Sympathicuseinflüssen -, läuft die Erregung über den Vorhof vorwiegend in ungeordneten Bahnen und erfährt im AV-Knoten eine Verzögerung. Von dort läuft die Reizwelle durch den Hissschen Bündelstamm und den rechten und linken Schenkel des spezifischen Muskelsystems - die Tawara-Schenkel - bis zu den Synapsen der Arbeitsmuskulatur. Dort löst sie die Kontrak-

tion der Kammermuskelfasern aus.

An jeder Stelle des Reizleitungssystems und der Herzmuskelfasern ist die Entstehung eines Extrareizes möglich. Der Sinusknoten ist das primäre Reizbildungszentrum mit einer Automatiefrequenz von ca. 70 pro Minute. Der AV-Knoten wird, wenn er die Reizbildung übernimmt, als sekundäres Reizzentrum bezeichnet; er weist eine Automatiefrequenz von ca. 50 Schlägen pro Minute auf. Das spezifische Reizleitungssystem und das Kammermyokard gelten, wenn sie Schrittmacher sind, als tertiäres Zentrum. Ihre Automatiefrequenz liegt unter 40 pro Minute.

2.1. Störungen der Reizbildung

Störungen der Reizbildung sind sowohl im Sinusknoten (monotop) als auch in außerhalb des Sinusknoten gelegenen (heterotopen) Erregungsbildungszentren anzutreffen.

Änderungen der Reizbildung im Sinusknoten äußern sich im Elektrokardiogramm als Tachykardie, Bradykardie, Sinusarrhythmie oder selten als Extrasystole.

Für die pathologische außerhalb des Sinusknoten gelegene Reizbildung werden verschiedene Entstehungsmechanismen diskutiert (38):

- ein ursprünglich mit langsamerer Frequenz als der Sinusknoten arbeitendes tiefergelegenes Zentrum kann die Führung über den Sinusknoten übernehmen, indem seine Reizschwelle dem Ruhepotential angenähert ist und das erzeugte "Generatorpotential" stets vorzeitig die Erregung einleitet (heterotope Tachykardie)
- ein tiefer gelegenes Zentrum kann seine

nicht mehr refraktäre Umgebung erneut depolarisieren, wenn es initial durch eine Eintrittsblockierung von der Gesamtdepolarisation ausgeschlossen bleibt (Parasystolie).

- es ist weiterhin denkbar, daß durch örtliche vegetative Stimulation das Schrittmacherpotential eines tiefer als der Sinusknoten gelegenen Zentrums beschleunigt gebildet und die Reizschwelle vorzeitig erreicht wird.

Herzaktionen, die durch vorzeitige Entstehung in einem Automatiezentrum meist außerhalb des Sinusknotens den Grundrhythmus des Herzens stören, bezeichnet man als Extrasystolen. Zur Erklärung der zeitlichen Zuordnung von Grundrhythmus und heterotoper Extrasystole sollen folgende Hypothesen aufgezählt werden:

- als eine Ursache wird die Wirkung der supernormalen Phase einer Normalaktion angesehen, durch die die Einzelfaser eine flüchtige gesteigerte Erregbarkeit dicht vor dem Ende der Repolarisation hat. Hierdurch könnte die Reizbildung eines tiefergelegenen schutzblockierten Zentrums vorzeitig den Schwellenwert erreichen und damit eine an den Grundrhythmus angeheftete Aktion erzeugen;
- als zweiter Mechanismus kommt die extreme Verzögerung der Erregungsleitung in einem umschriebenen Myokardareal bei gleichzeitiger Blockierung in Gegenrichtung im Sinne eines unidirektionalen Blocks in Frage. Hierbei wird angenommen, daß die Erregung nach langsamem Durch-

lauf des leitungsgestörten Bezirks auf wiedererregbares Myokard stößt und von dort aus eine zweite gekoppelte Aktion auslöst;

- schließlich wird auch dann eine an den Grundrhythmus angeheftete Aktion entstehen, wenn sich während der Repolarisation der von innen nach außen fließende Strom an der rückläufig wieder erreichten Reizschwelle derart abschwächt, daß durch kleinste entgegengerichtete Ionenverschiebungen eine erneute rasche Depolarisation erfolgen kann.

Als eine besondere Form der aktiven Heterotopie ist das Vorhof- und Kammerflimmern zu beachten. Die synchrone Erregung funktionell einheitlicher Muskelgruppen ist dabei aufgehoben. An ihre Stelle tritt die zeitlich versetzte Depolarisation kleiner Muskelgruppen, die in ständig sich ändernder Phasenverschiebung nebeneinander agieren. Der von einem Areal ausgehende Reiz gelangt nach gewisser Zeit zum Ursprungsort zurück und kann dort infolge bereits abgeklungener Refraktärzeit eine neue Erregung auslösen, so daß von einer in gewissen Bahnen kreisenden Erregung gesprochen werden kann.

In Abbildung 1 sind die wichtigsten Reizbildungsstörungen dargestellt.



Sinusrhythmus



Supraventrikuläre Extrasystole



Ventrikuläre Extrasystole



Supraventrikuläre Tachykardie



Ventrikuläre Tachykardie



Vorhofflimmern



Kammerflattern und -flimmern



Parasystolie

Abb. 1: Schematische Darstellung der wichtigsten Reizbildungsstörungen

2.2. Störungen der Reizleitung

Wenn eine Erregung verzögert oder blockiert wird, die unter den gegebenen Umständen eigentlich fortgeleitet hätte werden müssen, spricht man von einer Störung der Erregungsleitung. Von der Leitungsverzögerung bis zum Leitungsblock bestehen fließende Übergänge. Drei Schweregrade werden unterschieden:

- I. Grad: Leitungsverzögerung
- II. Grad: partieller Block
- III. Grad: totaler Block

Wechselt beim partiellen Block die Leitungszeit der übergeleiteten Aktionen, spricht man vom Typ I, bleibt sie konstant, vom Typ II.

Bei Überleitungsblockierungen II. oder III. Grades treten tiefergelegene Zentren ersatzweise in Aktion (passive Heterotopie). Je nach Sitz des tiefergelegenen Zentrums ist die Kammergruppe normal oder schenkelblockartig deformiert.

Wird die Reizleitung bereits am Ort ihrer Entstehung blockiert, so daß ein Übergreifen auf das umgebende Myokard nicht möglich ist und daher keine Herzkontraktion zu Stande kommt, spricht man von einer Austrittsblockierung (Exit-Block).

Ebenso kann ein bestimmter Myokardbezirk von einer sich ausbreitenden Erregungswelle abgeschirmt sein, was daran zu erkennen ist, daß dieser Bezirk nicht durch die Erregungswelle entladen wird, sondern unabhängig vom Grundrhythmus jederzeit ektopische Reize abgeben kann (Eintrittsblock).

Stimmen bei starker Verlangsamung des Sinusknotens Sinus- und AV-Frequenz annähernd überein, entsteht eine Grenzsituation, die als AV-Dissoziation bezeichnet wird. Indem die Reizbildung im Sinus- und AV-Knoten

fast gleichzeitig erfolgt, werden die Kammern vom näher gelegenen AV-Zentrum erregt, bevor noch die Vorhoferregung in die Kammern eindringen konnte. Diese Situation zeigt sich jedoch nur flüchtig, da schon eine geringe Beschleunigung der Sinusfrequenz den Sinusknoten wieder zum alleinigen Schrittmacher des Herzens macht.

Wird der Sinusknoten durch einen retrograden AV-Block schutzblockiert, so arbeitet er auch bei sehr langsamer Frequenz unbeeinflusst neben dem AV-Knoten und erregt in Abhängigkeit von den Refraktärverhältnissen gelegentlich die Kammern. In diesem Fall erscheinen im AV-Rhythmus extrasystolenähnlich eingestreute Normalaktionen, die den AV-Rhythmus durch Löschung zeitlich versetzen (Interferenzdissoziation).

AV-Dissoziation und Interferenzdissoziation sind in Abbildung 2 dargestellt.



Sinusrhythmus



AV-Block I. Grades



AV-Block II. Grades, Typ 1



AV-Block II. Grades, Typ 2



AV-Block III. Grades



AV-Dissoziation



Interferenzdissoziation

Abb. 2: Schematische Darstellung der wichtigsten Reizleitungsstörungen

2.3. Rhythmusstörungen bei Gesunden und Herzkranken

Zahlreiche epidemiologische Studien bei beliebig ausgewählten Bevölkerungsgruppen (11,20,3) haben ergeben, daß bei 1 - 50% der untersuchten Fälle Rhythmusstörungen unter verschiedenen Bedingungen vorkommen, die mit dem Alter der Patienten zunehmen. In der Literatur sind nahezu alle aus der Klinik bekannten Herzrhythmusstörungen auch bei Herzgesunden beschrieben worden.

Es gibt wohl kaum einen Menschen, bei dem nicht im Laufe des Lebens irgendwelche Rhythmusstörungen auftreten. Werden sie zufällig oder durch gezielte Untersuchung vom Arzt erkannt, so ist deren Bewertung immer nur aus dem Gesamtbefund des Einzelfalles möglich.

Zum Beispiel deckte eine Langzeit-EKG-Untersuchung bei Fliegern eine überraschende Variationsbreite in Typ und Häufigkeit von Arrhythmien auf (4). Polymorphie und Polytopie von ventrikulären Extrasystolen, kombiniertes Auftreten von supraventrikulären und ventrikulären Extrasystolen mit einer Frequenz von $< 6/\text{min}$, ein stark schwankendes Kupplungsintervall auch bei monomorphen Extrasystolen, eine Zunahme der Extrasystolen und der Polymorphie bei Belastung können auch bei gesunden Individuen gefunden werden und müssen nicht automatisch als Zeichen einer die Lebenserwartung vermin-dernden Herzerkrankung gewertet werden, wenn keine anderen EKG-Veränderungen nachweisbar sind und auch Anamnese und klinische Untersuchung keine Anhaltspunkte für eine Schädigung des Herzens ergeben.

Ebenso können zum Beispiel P-Wellen-Veränderungen mit Frequenzabnahme der Herzschlagfolge, AV-Dissoziation, wandernder Schrittmacher oder AV-Rhythmus auch beim Herzgesunden als Zeichen eines überwiegenden Vagustonus (Schlaf, Sportler in Ruhe) auftreten.

Bei Vorliegen einer Kardiomyopathie, einer entzündlichen oder koronaren Herzkrankheit ist jedoch die Sterblichkeit der Patienten mit Herzrhythmusstörungen wesentlich größer als bei gesunden Vergleichskollektiven. Besonders gefährdet sind in der Regel Patienten mit koronarer Herzkrankheit, wenn die Rhythmusstörung während pektanginöser Anfälle auftreten oder zunehmen, oder wenn sie nach Entstehen eines Myokardinfarktes festgestellt werden (3).

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Arten und Formen von Rhythmusstörungen dargestellt, die besonders im Zusammenhang mit einer kardiovaskulären Grunderkrankung auf eine schlechte Prognose hinweisen und bei denen die Indikation zu einer antiarrhythmischen Behandlung gegeben ist (20).

1. Monotope ventrikuläre Extrasystolen mit einer Frequenz $> 12/\text{min}$
2. Polytope ventrikuläre Extrasystolen jeglicher Frequenz
3. Ventrikuläre Extrasystolen in Serie (2-er bis 5-er Serie)
4. Kammertachykardien (> 5 aufeinanderfolgende VES)
5. Frühzeitig einfallende VES (R-auf-T-Phänomen)
6. Gehäufte supraventrikuläre ES ($> 12/\text{min}$)
7. Supraventrikuläre ES in Serie (> 2 aufeinanderfolgende ES)
8. Paroxysmale supraventrikuläre Tachykardien (Frequenz $> 160/\text{min}$)
9. Paroxysmales tachykardes Vorhofflimmern
10. AV-Knotenrhythmus a) langsam: 40 - 60/min
 b) schnell: $> 100/\text{min}$
11. Asystolien (> 3 sec Dauer)

Tabelle 1: Therapiebedürftige Rhythmusstörungen

Monotope ventrikuläre Extrasystolen mit einer Frequenz von $>12/\text{min}$, polytope ventrikuläre Extrasystolen, in Serie auftretende Kammerextrasystolen, sowie vorzeitig einfallende ES (R-auf-T-Phänomen), welche die T-Welle unterbrechen, ziehen eine signifikante Erhöhung der Zahl von paroxysmalen Kammertachykardien nach sich.

Ebenso sind gehäufte supraventrikuläre ES, insbesondere wenn sie in Serie vorkommen, nicht selten Vorboten eines tachykarden Vorhofflimmerns.

Paroxysmales Vorhofflimmern oder -flattern und ein hoher AV-Knotenrhythmus werden als therapiebedürftig angesehen, da diese Rhythmusstörungen meist tachykard verlaufen und sich dadurch bei Patienten mit koronarer Herzerkrankung ungünstig auf den Sauerstoffverbrauch auswirken.

Ein intermittierender SA-Block 2. Grades oder Asystolien von über 3 Sekunden Dauer können Vorläufer eines Adam-Stokesschen Anfalls sein oder die Manifestation eines Sinusknotensyndroms darstellen.

Es ist daher sehr wichtig, diejenigen Personen zu erkennen, die durch ihre Rhythmusstörungen ernstlich gefährdet sind. Eine immer mehr an Bedeutung gewinnende diagnostische Technik zur Überwachung herzkranker Patienten mit Rhythmusproblemen ist neben Belastungs-EKG, Arrhythmiecomputer und Telemetrie die Langzeit-EKG-Aufzeichnung mittels tragbarer Magnetbandgeräte geworden, mit der die Herzaktivität des Patienten während der üblichen Belastungen des Tages und während der Nachtruhe bis zu 24 Stunden überwacht werden kann.

Im folgenden sollen die wichtigsten Indikationen für diese Untersuchungstechnik aufgezählt werden.

3. Indikationen zur Langzeit-EKG-Überwachung

Aus Kosten- und Kapazitätsgründen müssen die Indikationen zu einer Langzeit-EKG-Aufzeichnung klar definiert sein. (Tabelle 2) (34).

1. Vermutete oder nachgewiesene koronare Herzerkrankung mit Verdacht auf Rhythmusstörungen.

Symptome: Angina pectoris, Prinzmetal-Angina

Bei Patienten mit durchgemachtem Myokardinfarkt und Verdacht auf tachykarde oder bradykarde Arrhythmien
Reaktion auf psychisch/physische Belastungen (Herzfrequenz, Extrasystolen, ST-Streckenveränderungen)

2. Verdacht auf kardial bedingte, intermittierende zerebrale Insuffizienz.

Symptome: flüchtige Blässe, Schwächeanfall, Benommenheit, plötzlich einsetzender Schwindel, ungeklärte Bewußtlosigkeit

3. Verdacht auf ungeklärte, intermittierende HRS

Symptome: schneller und/oder unregelmäßiger Herzschlag, Herzklopfen, Herzjagen, plötzlicher Wechsel zwischen Tachy- und Bradykardie

4. Sonstige, zu Arrhythmien neigende Herzkrankheiten

- Kardiomyopathien (vor allem hypertrophisch obstruktive Kardiomyopathie)
- Mitralklappenprolaps
- Antesytole: WPW-Syndrom, LGL-Syndrom

5. Überwachung von Schrittmacherpatienten bei Verdacht auf Schrittmacherdysfunktion

6. Überwachung des Erfolges einer antiarrhythmischen Therapie

Der Altersgipfel für eine Langzeit-EKG-Registrierung liegt in den meisten Fällen zwischen 50 und 70 Jahren.

3.1. Koronare Herzerkrankung mit Verdacht auf HRS

Bei der Beurteilung von Patienten mit koronarer Herzkrankheit hat sich die Langzeit-EKG-Überwachung als wertvolles Diagnosemittel erwiesen. Sie gestattet die Dokumentation der Krankheitsgeschichte bei Symptomen wie retrosternalem Brustschmerz und Atemnot. Da das Standard-EKG im Zeitraum zwischen den Herzanfällen oft unverdächtig ist, ist es erforderlich, das EKG auch während eines Anfalls aufzuzeichnen und damit eine Korrelation zwischen den Anfallssymptomen und den objektiven Symptomen wie ST-Streckenveränderungen oder Extrasystolen zu erhalten.

Zahlreiche Untersuchungen in den USA (14,30,31) haben gezeigt, daß bei Patienten mit koronarer Herzerkrankung Extrasystolen Vorboten des plötzlichen Herztodes sein können. Viele der lebensgefährlichen Arrhythmien werden von weniger gefährlichen Rhythmusstörungen eingeleitet.

Nach einem Myokardinfarkt steigt die Arrhythmierate zwischen der 3. und 11. Woche an (6). Die Häufigkeit ventrikulärer Arrhythmien liegt in dieser Zeit zwischen 70 und 90% aller Patienten (29,33).

Besonders gefährdete Patienten mit R-auf-T-Phänomen, hoher Extrasystolenrate mit großer Polymorphie und Polytopie, Salven von Extrasystolen oder Kammer-tachykardien lassen sich mit Hilfe einer Langzeit-EKG-Untersuchung herausfinden. Die Leistungsfähigkeit und die individuellen Belastungsgrenzen lassen sich

in jedem speziellen Fall gut ausloten, Ängste des Patienten bezüglich der eigenen Leistungsfähigkeit unter Belastung nach überstandenen Infarkt können in vielen Fällen abgebaut werden.

3.2. Verdacht auf kardial bedingte zerebrale Insuffizienz

Bei Verdacht auf durch Arrhythmien bedingte intermittierende zerebrale Insuffizienz, als deren Leitsymptome flüchtige Blässe, plötzlich einsetzender Schwindel, Schwäche, Benommenheit oder im schwersten Fall Adam-Stokessche Anfälle auftreten können, empfiehlt sich ebenfalls eine Langzeit-EKG-Aufzeichnung. Differentialdiagnostisch muß immer eine zerebrale oder angiologische Ursache ausgeschlossen werden, weshalb eine neurologische Untersuchung vorausgeschickt werden sollte (34).

Eine endgültige Abklärung mit dem Beweis einer kardialen Ursache gelingt bei diesen Patienten umso häufiger, je länger die kontinuierliche Überwachung der Herztätigkeit erfolgt.

Als kardiale Ursache für die zerebrale Insuffizienz können z.B. ventrikuläre Tachykardien oder Bradykardien, ein kompletter, mehrere Sekunden andauernder Herzblock oder Vorhofflattern oder -flimmern gefunden werden.

Bisherige Untersuchungen (41,7) zeigen jedoch, daß bei einer 24-stündigen Überwachungszeit im Durchschnitt nur bei 25% der untersuchten Patienten ein positiver Befund erbracht werden kann.

Bei positivem Ausfall der Langzeit-EKG-Untersuchung mit gleichzeitig aufgetretener subjektiver Symptomatik ist die kardiale Ursache nachgewiesen.

Ein negatives Langzeit-EKG schließt nur in dem

Fall eine kardiale Ursache aus, wenn während der Registrierung die bekannten Symptome aufgetreten sind.

3.3. Verdacht auf intermittierende HRS unbekannter Genese

Klagen Patienten über schnellen und/oder unregelmäßigen Puls, über Herzjagen oder verstärkte Palpitationen, ist ebenfalls die Indikation zur Langzeit-EKG-Aufzeichnung gegeben, besonders wenn die Symptome häufig und unvermittelt auftreten. Subjektiv ist der Patient oft sehr beunruhigt, da er das Gefühl hat, daß "das Herz stillsteht", "der Herzschlag aussetzt" oder "das Herz rast".

Verstärkte Palpitationen können ihre Ursache z.B. in Krankheiten wie Thyreotoxikose, Anämie oder psychovegetativen Funktionsstörungen haben; sie können auch durch exzessiven Alkohol- und Tabakgenuß, durch Coffein und Medikamente (Isoproterenol, Aminophyllin) hervorgerufen werden.

Paroxysmales Herzjagen und plötzlicher Wechsel zwischen Bradykardie und Tachykardie sind zu beachten, da die Herzauswurfleistung beträchtlich reduziert werden kann und die Symptome einer angina pectoris oder einer zerebralen Insuffizienz hervorgerufen werden können.

3.4. Sonstige zu Arrhythmien neigende Herzerkrankungen

Bei diesen Patienten wird man bei subjektiven Beschwerden infolge Rhythmusstörungen ein Langzeit-EKG anordnen, um das Ausmaß der Arrhythmien und die Notwendigkeit einer medikamentösen Therapie zu beurteilen (34).

Patienten mit hypertrophischer obstruktiver kardio-

myopathie und gleichzeitig auftretenden Synkopen, Herzklopfen und Schwindelattacken sollten unbedingt überwacht werden, da bei ihnen paroxysmale supraventrikuläre Tachykardien oder Vorhofflimmern in 70%, ventrikuläre Extrasystolen in bis zu 90%, gehäufte Extrasystolen in 25% und ventrikuläre Tachykardie in etwa 7% der Fälle auftreten (17).

Bei manchen Patienten ist eine hochdosierte Therapie mit Beta-Blockern oder Kalziumantagonisten notwendig. Bei ihnen kann mit Hilfe des Langzeit-EKG überprüft werden, ob gefährliche Rhythmusstörungen auftreten.

Aus der Literatur ist bekannt (42), daß Patienten mit Mitralklappenprolaps gelegentlich supraventrikuläre oder ventrikuläre Extrasystolen haben; auch hier bietet sich die Möglichkeit, diese mit Hilfe eines Langzeit-EKG nach Art und Häufigkeit zu erkennen. Finden sich dabei gehäufte ventrikuläre Extrasystolen, zeigt sich meist auch ein Bild komplexer ventrikulärer Arrhythmien.

Gelegentlich neigen Patienten mit elektrokardiographisch gesichertem WPW-Syndrom zu paroxysmalen ventrikulären Tachykardien (13). Da diese Patienten gehäuft Herzklopfen verspüren, das nicht durch Arrhythmien hervorgerufen wird, sollte vor Beginn einer geplanten medikamentösen Therapie ein Langzeit-EKG abgeleitet werden, um eine unnötige antiarrhythmische Therapie zu vermeiden. In einem ausgesuchten Patientengut mit Antesystolie fand man bei einer 24-Stunden-Registrierung in etwa 25% der Fälle Rhythmusstörungen (18).

3.5. Überwachung einer antiarrhythmischen Therapie

Ein weiteres Anwendungsgebiet der Langzeit-EKG-Überwachung ist die Beurteilung der Wirksamkeit eines Antiarrhythmikums. Eine nutzlose Therapie kann abgebrochen werden, Nebenwirkungen (z.B. Bradykardien bei hochdosierter Gabe von Beta-Blockern oder Kalziumantagonisten) können rechtzeitig erkannt werden. Andererseits kann durch die Zuordnung bestimmter Symptome zu entsprechenden Rhythmusstörungen ein vorzeitiger, nicht gerechtfertigter Therapieabbruch verhindert werden (34).

Auf Grund bisheriger Erfahrungen (37) kann man eine antiarrhythmische Therapie nur als erfolgreich bewerten, wenn die Arrhythmien zu etwa 80 - 90% unterdrückt werden. Andernfalls besteht die Möglichkeit, daß nicht der antiarrhythmische Effekt des betreffenden Medikamentes, sondern ein spontaner Rückgang der Arrhythmien gemessen wird.

Will man ganz sicher gehen, daß ein bestimmtes Medikament eine bestimmte Rhythmusstörung beseitigt, muß das Medikament periodisch verabreicht werden und sowohl unter Medikamentengabe als auch in den Pausen ein Langzeit-EKG aufgezeichnet werden.

Ein derartiges Verfahren ist für den Routine-Klinikbetrieb zu aufwendig, empfiehlt sich aber bei der Erprobung neuer Antiarrhythmika.

3.6. Überwachung von Schrittmacherpatienten

Die Schrittmacherfunktionsüberprüfung wird dann eine Indikation zum Langzeit-EKG darstellen, wenn intermittierende Ausfälle vermutet werden. Bei geschickter Platzierung der Elektroden, etwa in Position V₄, reicht

auch in diesem Falle eine Ableitung, um alle wesentlichen Kriterien der Schrittmacherfunktion (Stimulationsfrequenz, Demandfunktion) zu erkennen.

4. Technische Einrichtungen zur Langzeit-EKG-Überwachung und deren diagnostische Aussagekraft

In folgendem Abschnitt werden die heute gebräuchlichen technischen Einrichtungen zur Langzeit-EKG-Überwachung, nämlich Arrhythmiecomputer, Telemetrie, Belastungs-EKG und Bandspeicher-EKG vergleichend beschrieben und die sinnvollen Einsatzmöglichkeiten der einzelnen Einrichtungen dargelegt.

4.1. Elektroden und Ableitungstechnik

Da bei der Überwachung der Herztätigkeit über längere Zeit auf Grund des begrenzten Speicherplatzes meistens nur eine EKG-Ableitung abgeleitet wird, sollte aus ihr je nach den gestellten Anforderungen möglichst viel Information herausgelesen werden können.

Zwei Ableitungstechniken werden vorzugsweise bei der Langzeit-EKG-Überwachung angewandt:

- normalerweise verwendet man eine bipolare modifizierte V₄-Ableitung, die ebenso die Beurteilung von Ischämien wie von Arrhythmien ermöglicht. Die untersuchende Elektrode wird in Position V₄ befestigt, wobei darauf geachtet werden sollte, sie auf einer Rippe und nicht in einem Interkostalraum anzubringen, um Muskelartefakte zu minimalisieren. Die Neutralelektrode wird auf dem manubrium sterni befestigt. In den meisten Fällen ist bei dieser Ableitungsart der QRS-Komplex positiv und ähnelt der Standardableitung I oder V₄.
- eine modifizierte V₁-Ableitung kann verwendet werden, falls nur Interesse an der Erkennung von

Rhythmusstörungen besteht. Bei dieser Ableitung wird die untersuchende Elektrode am unteren Sternum nahe am Xyphoid und die Neutralelektrode am rechten Schlüsselbein oder am manubrium sterni befestigt. Diese Ableitung weist in den meisten Fällen eine hohe P-Welle auf und ist nützlich bei der Unterscheidung von ventrikulären Extrasystolen und supraventrikulären Extrasystolen mit ventrikulären Abweichungen.

Bei Patienten mit implantiertem Schrittmacher empfiehlt sich eine Ableitung, die den Stimulationsimpuls gut erkennen läßt. Zu Beginn jeder Langzeitaufzeichnung kann durch Ausschreiben eines kurzen Probestreifens die gewünschte Form der EKG-Signale überprüft werden.

Eine störungsfreie Registrierung der Herztätigkeit über längere Zeit ist abhängig vom optimalen Sitz und Hautkontakt der Elektroden. Unerwünschte Störungen werden hauptsächlich durch Polarisationsspannungen (Abweichung der Signale von der Nulllinie), durch zu hohen Haut-Elektroden-Übergangswiderstand (Einkopplung von elektromagnetischen Feldern oder Netzbrumm auf das von den Elektroden zum Verstärker führende Kabel), durch Bewegungsartefakte und Muskelpotentiale hervorgerufen.

Es empfiehlt sich auf jeden Fall, beim Anlegen der Elektroden größte Sorgfalt walten zu lassen; auf folgende Punkte sollte man immer achten:

- bei Bedarf Rasur der Haut
- Entfetten der Haut, um den Übergangswiderstand von der Haut zur Elektrode zu verkleinern und ein Ablösen der Klebeelektroden zu vermeiden
- Anlegen der Elektroden 20 - 30 Minuten vor Beginn der Überwachung, um ein Eindringen des

- Elektrodengels in die obere Hautschicht und damit eine gute Kontaktgabe zu gewährleisten
- Verwendung von ausreichend Elektrodengel, um auch bei Bewegungen guten Kontakt zwischen Haut und Elektrode zu ermöglichen
 - Zugentlastung der Anschlußkabel durch Ankleben der Elektrodenkabel auf die Haut

4.2. Arrhythmiecomputer

Die konventionelle Methode der Arrhythmieüberwachung durch das Pflegepersonal mit Hilfe von bettseitigen oder zentralen Oszilloskopen hat erwiesenermaßen eine sehr geringe Treffsicherheit bei der Erkennung von Arrhythmien (40), so daß es naheliegend war, eine elektronische Dauerüberwachung des Herzrhythmus zu versuchen. Eine große Anzahl von Firmen hat daher in den letzten Jahren Geräte entwickelt, die einerseits im Stande sind, pathologische Herzaktionen von normalen Herzaktionen zu unterscheiden und andererseits auf Grund bestimmter programmierbarer Kriterien verschiedene kritische Situationen als Alarm melden können.

Es sollen im folgenden daher in kurzen Zügen die grundlegenden Funktionsweisen von Arrhythmiecomputern beschrieben und deren diagnostische Aussagekraft und Zuverlässigkeit überprüft werden.

Patienten mit akutem Myokardinfarkt sind insbesondere durch ventrikuläre Tachyarrhythmien gefährdet, die sich in einem Großteil der Fälle durch eine ansteigende Zahl von Schlägen ventrikulären Ursprungs ankündigen. Da gerade auf diesem Gebiet rechtzeitige therapeutische Maßnahmen in der Regel Erfolg haben,

wird bei der Überwachung gefährdeter Patienten auf möglichst frühzeitige Erfassung und Meldung der ventrikulären Extrasystolie besonderes Augenmerk gerichtet und zu diesem Zweck auch zunehmend die automatische Arrhythmieanalyse eingesetzt.

Die zur Identifizierung einer Extrasystole angewandten Kriterien sind recht vielfältig: Dauer bzw. Breite des QRS-Komplexes, Bestimmung des Flächenunterschiedes zwischen Normalschlägen und Extrasystolen, Erfassung der Abweichung der Vektorschleife (nur bei Registrierung mehrerer Ableitungen möglich), Beurteilung der QRS-Morphologie sowie Messung der Abweichung des R-R-Intervalls von Normalschlägen und vorzeitigen oder verspäteten supraventrikulären oder ventrikulären Schlägen.

In Anbetracht der großen Mannigfaltigkeit von pathologischen Formen und auch durch Störungen hervorgerufenen Artefakten, die ein Arrhythmiecomputer erkennen und beurteilen muß, ist es verständlich, daß es sehr große Schwierigkeiten bereitet, eine große Sensibilität (Anzahl der als pathologisch erkannten abnormen Komplexe) bei gleichzeitiger hoher Spezifität (Anzahl der als normal erkannten normalen Komplexe) zu erhalten. Das soll an folgenden Beispielen erläutert werden.

Das einfache Kriterium der QRS-Dauer alleine ist z.B. deswegen zur Unterscheidung von normalen und pathologischen Komplexen ungeeignet, weil nicht selten bereits normale QRS-Komplexe eine verlängerte Dauer aufweisen. Das kann zu einer hohen Rate von falsch positiven Werten führen.

Auf der anderen Seite muß eine ventrikuläre Extrasystole die Breite des Normalschlages nicht

überschreiten, so daß mit diesem Kriterium auch nicht alle ventrikulären Extrasystolen erfaßt werden können.

Wird neben der QRS-Dauer auch die Fläche des QRS-Komplexes als zweites Kriterium verwendet, dann werden mit diesen beiden Kriterien tatsächlich nur die in ihrer Form abweichenden Komplexe identifiziert, wodurch eine 100% Spezifität erreicht ist. Allerdings sind natürlich durchaus ventrikuläre Extrasystolen denkbar, die nicht beide erwähnten Kriterien gleichzeitig erfüllen, also entweder gleiche QRS-Dauer aufweisen wie die Normalschläge oder sich in ihrem Flächeninhalt von diesen nicht signifikant unterscheiden, wodurch die Sensibilität wieder vermindert wird.

Die besten Ergebnisse mit hoher Sensibilität und Spezifität erreicht man heutzutage dadurch, daß zu Beginn eines Überwachungszyklus einige normale Referenz-Komplexe in den Computer eingefüttert werden, die dann laufend mit den in das Gerät einlaufenden QRS-Komplexen verglichen werden und sofort jede Abweichung von der Norm melden. Als normal erkannte Komplexe modifizieren kontinuierlich den Referenzkomplex und erlauben eine Anpassung an langsame Veränderungen der Form des QRS-Komplexes.

Wenige als normal erkannte Herzschläge müssen für den Lernvorgang des Arrhythmiecomputers zu Beginn des Überwachungszyklus ausreichen, da stark arrhythmische und durch häufige bzw. salvenartig einfallende ventrikuläre Extrasystolen gestörte EKG-Bilder die Eingabe von mehreren aufeinanderfolgenden normalen Referenzschlägen unmöglich machen können.

Zusätzlich muß ein guter Arrhythmiecomputer gelegentlich auftretende Störungen des EKG-Signals (Nullliniendrift, Muskelartefakte, Netzbrumm, Leitungsunter-

brechung) erkennen und von Arrhythmien unterscheiden können, um störende Fehlalarme zu vermeiden.

Moderne Arrhythmiecomputer weisen etwa eine Sensibilität von 80 - 90% und eine Spezifität von 90 - 98% bei der Erkennung von Extrasystolen auf (2,21). Sie erlauben auch die Erkennung von anderen Arrhythmien wie Asystolie, irregulären Sinus- und supraventrikulären Rhythmus, Bradykardie und Tachykardie, ventrikuläre Bigemie und Trigemie und ventrikuläre Fibrillation.

Jede bedeutende Veränderung der Herzfunktion oder des Überwachungszustandes eines Patienten löst einen akustischen Alarm aus.

Als sinnvoll erweist sich folgendes System der Alarmmeldung: man programmiert dem Computer ein bestimmtes Limit für Extrasystolen pro Minute ein (z.B. 5/min). Wird dieser Grenzwert nur um wenige Extraschläge pro Minute überschritten, wird erst nach 20 Minuten Alarm gegeben; wird der Grenzwert jedoch um viele Extrasystolen pro Minute übertroffen, wird der Alarm bereits nach wenigen Sekunden ausgelöst. Dies entspricht auch der Praxis der in Überwachungsstationen tätigen Ärzte, die sich bei nur geringer Überschreitung eines unbewußt gesetzten Limits auch nur allmählich zur Einleitung einer Therapie entschließen, während dies bei kräftiger Überschreitung sofort geschieht (21).

Gleichzeitig mit dem Ertönen des Alarmsignals wird ein Streifenschreiber in Gang gesetzt, der den Alarmzustand dokumentiert.

Anspruchsvolle Arrhythmiecomputer, mit denen man 8 - 16 Patienten gleichzeitig überwachen kann, verfügen über einen Monitor und einen Drucker, die zu

jedem gewünschten Zeitpunkt übersichtliche Darstellungen wichtiger Patientendaten bereitstellen können (16):

- die fortlaufende Anzeige des augenblicklichen Zustandes eines jeden überwachten Patienten ermöglicht einen schnellen Überblick über Herzrhythmusstatus und Arrhythmiestatus
- Patientendaten können über längere Zeit (8 - 24 Stunden) gespeichert werden und je nach Bedarf in graphischer Trendform abgefragt werden. Die Trenddarstellungen schließen die Herzfrequenz, ventrikuläre Extrasystolen, Schrittmacherimpulse, abgeschaltete Überwachung, Perioden schlechter Signalqualität und sonstige Alarmursachen ein. Herzfrequenz und ventrikuläre Extrasystolen können zusätzlich in einem Frequenz/Zeitdiagramm dargestellt werden
- eine Alarmübersicht liefert dem Überwachungspersonal eine augenblickliche Aufstellung der letzten Arrhythmien des Patienten; auf diese Weise können schriftliche Unterlagen über Alarmmeldungen für die Krankengeschichte oder für die Besprechung bereitgestellt werden
- mit einer selektiven Alarmunterdrückung können mehrere Bedingungen vorgegeben werden, bei denen kein Alarm gegeben werden soll (z.B. Paare von Extrasystolen oder fehlende QRS-Komplexe). Diese Art der Abschaltung ist sinnvoll, wenn durch chronische Bedingungen laufend Alarm ausgelöst wird.

4.3. Telemetrie

Konventionelle Ruhe- und Belastungselektrokardiogramme erfassen die elektrischen Erregungsabläufe am Herzen auch bei häufigen Kontrollen oft nur unzureichend. Limitierende Faktoren sind kurze Registrierdauer und praktisch gleichbleibendes Umgebungsmilieu (5). Demgegenüber bieten Langzeit-EKG und auch EKG-Telemetrie ein rückwirkungsfreies Verfahren tätigkeitssynchroner Überwachung von Herzschlagfrequenz und EKG über längere Zeiträume.

EKG-Telemetrieinheiten bestehen aus einer Sendeeinheit und einer Empfangseinheit. Der Sender ist ein kleines am Körper tragbares Gerät mit je nach Bauart unterschiedlicher Sendereichweite. Im Schnitt können in bebautem Gelände etwa 300 m und in freiem Gelände 2 - 3 km überbrückt werden.

Die empfangenen Signale können on line (Überwachung ohne Zeitverzögerung) an Arrhythmiecomputer oder andere Überwachungsanlagen angeschlossen werden.

Die EKG-Telemetrie empfiehlt sich daher besonders in Anwendungsfällen, in denen die Reichweite der überwachten Patienten nicht beliebig groß sein muß, eine on-line-Überwachung jedoch wünschenswert erscheint, etwa bei der Überwachung gefährdeter Patienten im Krankenhaus, bei der Rehabilitation von Patienten mit überstandenen Myokardinfarkt, bei der Austestung der Belastbarkeit während einer Bewegungstherapie oder in der Leistungs- und Sportmedizin.

Die Langzeit-EKG-Überwachung mit am Körper tragbaren Magnetbandaufzeichnungsgeräten unterliegt dagegen keinen Reichweitebeschränkungen, es muß aber auf eine on-line-Überwachung verzichtet werden. Diese Untersuchungstechnik empfiehlt sich daher bei nicht unmittel-

bar lebensgefährdeten Patienten, etwa bei der Abklärung vermuteter Rhythmusstörungen oder bei Untersuchungen in der Arbeitsmedizin oder Psychosomatik.

Die Signalqualität der abgeleiteten Herzaktionspotentiale dürfte bei der Telemetrie etwa ebenso gut sein wie beim Bandspeicher-EKG. Die diagnostische Aussagekraft dieser beiden Techniken, die durch Störungen wie Elektrodenlockerung (Nullliniendrift) oder Bewegungsartefakte begrenzt ist, wird in Punkt 4.5.4. besprochen werden.

4.4. Belastungs-EKG

Das Belastungs-EKG soll bei der Beschreibung der Einrichtungen zur Langzeit-EKG-Überwachung mit erwähnt werden, weil auch mit dieser Technik pathologische Veränderungen des Erregungsablaufes aufgedeckt werden können, die im Routine-EKG meist nicht erkannt werden.

Der Belastungstest wird in den meisten Fällen mit Hilfe des Fahrradergometers im Liegen oder im Sitzen durchgeführt.

Die Untersuchung im Liegen bringt den Vorteil, daß man Vergleichsmöglichkeiten mit invasiven Untersuchungsmethoden hat, die durchweg im Liegen durchgeführt werden. Zusätzlich erhält man ein technisch einwandfreieres Elektrokardiogramm als im Sitzen und der Arzt hat bei Notfallsituationen einen günstigen therapeutischen Zugriff.

Als Nachteile der Untersuchung im Liegen müssen vorallem die Einflüsse auf die Hämodynamik im Liegen und die subjektiv als schwerer empfundene Belastung erwähnt werden (36).

Die Belastung wird je nach Leistungsfähigkeit des Patienten mit 25,50 oder mehr Watt begonnen. Nach 6 Minuten wird sie um 25 oder 50 Watt gesteigert. Die Belastung wird abgebrochen, wenn der Patient die Ausbelastungsherzfrequenz (80% der altersabhängigen maximalen Herzfrequenz) erreicht hat, oder wenn andere Gründe vorliegen, die zum Abbruch zwingen. Während der Belastung wird zusätzlich in regelmäßigen Abständen der Blutdruck gemessen.

Zur Testung der Koronarreserve und der Belastungskoronarinsuffizienz wird das Belastungs-EKG heute allgemein als sehr aussagekräftige Untersuchungsmethode angesehen (36).

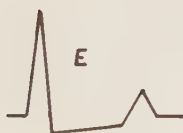
Als markanteste Veränderung in diesem Sinne wird die sogenannte ischämische ST-Senkung aufgefaßt.

In Abbildung 3 sind ST-T-Veränderungen im Belastungs-EKG schematisch dargestellt.

Normal



Mögliche ischämische
ST-Senkung



Ischämische
ST-Senkung



Abb. 3: Schematische Darstellung der ST-T-Veränderungen
im Belastungs-EKG

Folgende ST-T-Veränderungen müssen als eine ischämische Reaktion aufgefaßt werden, falls die Senkung größer als 0,05 mV ist:

- Senkung des I-Punktes unter die Nulllinie mit horizontalem oder deszendierendem Verlauf der ST-Strecke (F,G)
- tiefe, eindeutige deszendierende ST-Senkungen ohne Senkung des I-Punktes (C)
- tiefe I-Punkt-Senkung mit leicht aszendierendem, aber am Ende deutlich unter der Nulllinie bleibendem ST-Verlauf (E)
- tiefe muldenförmige ST-Senkungen

Die Aussagekraft einer ST-Senkung zur Diagnose einer myokardialen Ischämie ist im Belastungs-EKG aus folgenden Gründen wesentlich größer als im Langzeit-EKG:

- erstens kann nur im Belastungs-EKG eine ST-Senkung eindeutig mit den entsprechenden Symptomen der körperlichen Belastung korreliert werden
- zweitens können ST-Segmentveränderungen in der Langzeit-Elektrokardiographie oder in der Telemetrie auch durch Lageänderungen des Patienten oder durch Nullliniendrift vorgetäuscht werden, oder eine genaue Diagnose durch elektrische Störpotentiale unmöglich gemacht werden.

Aus diesen Gründen sollte zur Beurteilung von ST-Streckenveränderungen nach Möglichkeit ein Belastungs-EKG durchgeführt werden (44).

Recht unterschiedliche Meinungen in der Literatur gibt es auf die Frage, ob das Belastungs-EKG bei der Deutung von während der Belastung auftretenden Rhyth-

musstörungen zuverlässige Aussagen machen kann.

Einige Untersuchungen deckten auch bei anscheinend Gesunden Arrhythmien während einer Ergometerbelastung auf (10,27,28). Bei einer anderen Untersuchung zeigte sich, daß 56% aller Probanden mit wahrscheinlicher koronarer Herzerkrankung bei Belastung Rhythmusstörungen bekamen (12). Diese Untersuchung kam auch zu dem Ergebnis, daß koronare Herzerkrankung etwa 4 mal häufiger bei Personen vorkam, die Rhythmusstörungen bei einer Herzfrequenz von weniger als 150/min bekamen, als bei Personen, die Arrhythmien bei einer Herzfrequenz von mehr als 150/min bekamen.

Eine andere Forschungsarbeit zeigte, daß in einer Gruppe von 100 Patienten eine Ergometerbelastung in 56 Fällen Rhythmusstörungen ans Tageslicht brachte, während ein 24-Stunden Bandspeicher-EKG in 88 Fällen positive Ergebnisse brachte. Von den 44 Patienten, die keine Arrhythmien unter Belastung erkennen ließen, zeigten 24 Arrhythmien im Bandspeicher-EKG (35).

Man muß daher davon ausgehen, daß es zumindest zweifelhaft erscheint, ob während einer Ergometerbelastung auftretende Rhythmusstörungen als Zeichen für eine Herzerkrankung angesehen werden können; das Langzeit-EKG ist in puncto Rhythmusstörungen als die empfindlichere und aussagekräftigere Untersuchung zu betrachten.

4.5. Bandspeicher-EKG

Seit Einführung des ersten Langzeit-EKG-Gerätes durch den amerikanischen Physiker Holter im Jahre 1961 (15) ist dieses Verfahren zu einem wertvollen Hilfsmittel in der kardiologischen Diagnostik geworden. Zahlreiche

Untersuchungen (9,19,23,39), unter anderem eine Studie mit 1673 Patienten (1), bei denen Arrhythmien, Leitungsdefekte oder koronare Herzkrankheit vermutet wurden, haben die Aussagekraft dieser Untersuchungstechnik bei der Erkennung von Herzrhythmusstörungen unter Beweis gestellt.

Entscheidend ist dabei, daß sich der in Untersuchung befindende Patient in seiner gewohnten Umgebung aufhält, und das EKG während der verschiedenen Belastungen des Tages und während der Nachtruhe aufgezeichnet wird. Besonders aus diesem Grund eignen sich tragbare Magnetbandspeicher besonders für die ambulante Untersuchung von Patienten, bei denen nicht unmittelbar mit der Möglichkeit eines plötzlichen Herztodes gerechnet werden muß.

4.5.1. Aufnahmegerät

Heute gebräuchliche Langzeit-EKG-Systeme bestehen aus einer Aufnahmeeinheit und einer Wiedergabeeinheit. Bei den Aufnahmegeräten handelt es sich um kleine, am Körper tragbare, etwa 500 g schwere, von Batterien oder wieder aufladbaren Akkumulatoren gespeiste Magnetbandgeräte, die über einen extrem langsamen Bandtransport verfügen und mit einem Band Aufnahmezeiten bis zu 30 Stunden ermöglichen.

Das Aufnahmegerät wird in einer Tragetasche am Körper getragen und behindert den Patienten während seiner üblichen Tagestätigkeiten nur unwesentlich. Zur Ableitung des EKG verwendet man am besten Einmal-Klebe-Elektroden und die Ableitungstechniken, wie unter Punkt 4.1. beschrieben.

Moderne Aufnahmegeräte haben mehrere Aufnahmekanäle, wodurch verbesserte Untersuchungsmöglichkeiten entstehen:

- man kann mehrere Ableitungen simultan aufzeichnen, wodurch die Artefakterkennung und die Deutung komplizierter pathologischer Erregungsabläufe am Herzen erleichtert wird
- Atemtätigkeit und/oder Hauttemperatur können wahlweise mitregistriert werden
- der Patient kann auf einem Kanal das Auftreten verstärkter Palpitationen oder eines angina pectoris-Anfalls mittels Knopfdruck markieren, wodurch bei der Auswertung eine Zuordnung zwischen subjektiv empfundenen Symptomen und der zu diesem Zeitpunkt registrierten Herz-tätigkeit ermöglicht wird.

Während der Aufnahmeperiode sollte der Patient ein Protokoll führen, indem er alle Tätigkeiten und Symptome beschreibt und ansonsten seinen gewohnten Tätigkeiten nachgehen, insbesondere solchen, von denen er weiß, daß sie Symptome hervorrufen.

4.5.2. Dauer der Registrierung

Die Antwort auf die Frage, wie lange eine Langzeit-EKG-Ableitung dauern sollte, hängt natürlich vom klinischen Befund ab.

Bei Patienten, deren Symptome nur ganz selten auftreten, wäre eigentlich die Langzeitüberwachung so lange notwendig, bis zum ersten Mal eine Rhythmusstörung aufgetreten ist, die die Symptome des Patienten zufriedenstellend klärt.

Aus personellen und finanziellen Gründen muß man sich in der Praxis jedoch auf eine ein- bis zweimalige maximal 24-stündige Registrierung beschränken (34), die nach Möglichkeit auf die Nachtruhe ausgedehnt werden sollte, da paroxysmale supraventrikuläre Tachykardien zu 50% in der Nacht auftreten (26) und außerdem viele bradykarde Rhythmusstörungen erst während der Nachtruhe unter verstärktem Vaguseinfluß auftreten.

Frühere Untersuchungen (25) haben aufgezeigt, daß bei Patienten mit koronarer Herzkrankheit oder überstandenen Myokardinfarkt eine 10-stündige Aufnahmezeit zur Erfassung von bedrohlichen Rhythmusstörungen (Salven von Extrasystolen, paroxysmale ventrikuläre Tachykardie, R-auf-T-Phänomen) nicht in allen Fällen ausreicht. Die ausreichende Überwachungsdauer für derart gefährdete Patienten läßt sich nicht genau angeben. In jedem Fall haben Patienten, bei denen die Rhythmusstörungen nur in größeren Zeitabständen auftreten, ein kleineres Risiko auf einen plötzlichen Herztod als Patienten, die Rhythmusstörungen dauernd oder in kurzen Zeitabständen haben.

4.5.3. Auswertegeräte

Eine 24-stündige EKG-Speicherung auf Magnetband enthält etwa 100 000 Herzzyklen. Um deren Auswertung mit einem vertretbaren Zeitaufwand durchführen zu können, wurden spezielle Auswertegeräte entwickelt, mit denen das gespeicherte EKG mit 20 - 60 facher Aufnahmegeschwindigkeit abgespielt und begutachtet werden kann. Man

verwendet dazu die Technik des "Scanning".

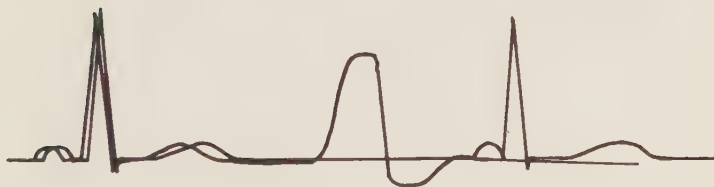


Abb. 4: "Scanning"-Darstellung der getriggert überlagerten Herzsignale

Auf einem Monitor werden dabei mehrere Herzzyklen als stehendes Bild getriggert überlagert (Triggerauslöser ist die R-Zacke des EKG-Signals).

Während sich bei normalen EKG-Komplexen das stehende Bild von Komplex zu Komplex nur unwesentlich verändert, kann das Auge eines geübten Beobachters auch bei 20 - 60facher Abspielgeschwindigkeit Verformungen, Vorzeitigkeit und Fehlen des QRS-Komplexes erkennen, vor allem, wenn diese spontan auftreten.

Im Falle der Erkennung einer EKG-Veränderung kann das Band gestoppt werden und die interessierende Stelle auf dem Bildschirm genauer analysiert oder auf einem Papierstreifen ausgeschrieben werden. Je nach Reaktionsvermögen und Aufnahmefähigkeit des Auswerters können auf diese Weise durchschnittlich 50 - 70% aller pathologischen Veränderungen der Herzschlagfolge erkannt werden.

Treten beispielsweise gar keine oder nur selten Veränderungen des EKG auf, so kann eine 24-Stun-

den-Aufzeichnung bei 60-facher Abspielgeschwindigkeit in 24 - 60 Minuten ausgewertet werden. Bei Patienten mit hoher Arrhythmierate wird die Methode des "Scanning" jedoch wesentlich zeitraubender und ermüdender für den Auswerter, da er dauernd die beschleunigte Wiedergabe unterbrechen muß.

Um einen größeren Prozentsatz der pathologischen Signale erfassen zu können und zudem die Auswertezeit zu verkürzen, hat die Industrie Arrhythmieanalyseeinheiten entwickelt, die auf Grund vorher einzustellender Kriterien eine halbautomatische Auswertung der auf Band gespeicherten Information erlauben.

Bei diesen Geräten können in weiten Grenzen wählbare Kriterien für Brady- und Tachykardien, Extrasystolen supraventrikulären und ventrikulären Ursprungs, R-auf-T-Phänomen, Salven von Extrasystolen und Asystolien eingestellt werden.

Bei Eintreten dieser Kriterien wird das Band automatisch angehalten; das Ereignis wird auf einem Monitor dargestellt und im Bedarfsfall auf Papier ausgeschrieben.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Häufigkeit gewisser Ereignisse zu zählen und das bei Überschreiten eines bestimmten Grenzwertes pro Zeiteinheit zu melden.

Wie Abbildung 5 zeigt, kann der gesamte EKG-Verlauf in Form eines R-R-Intervall-Histogramms dargestellt werden. (Siehe Seite 42)

Dabei werden die einzelnen Herzschläge gemäß der R-R-Intervalldauer als Punkte oder Striche

über die Zeit aufgetragen. Plötzliche Herzfrequenzänderungen werden leicht als Sprünge innerhalb des Histogramms erkannt, ebenso ist der Trend der Herzfrequenz über längere Zeit ablesbar.

R-R-
Inter-
valldauer

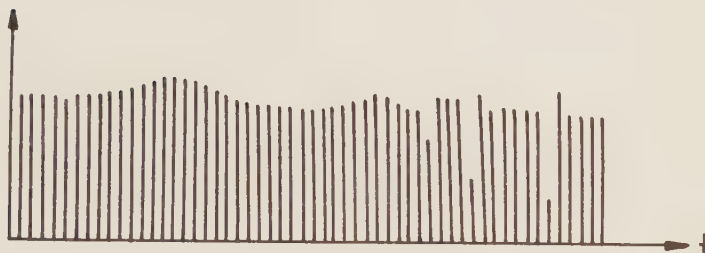


Abb. 5: R-R-Intervall-Histogramm

Die halbautomatische Auswertung findet ihre Grenzen in der Gültigkeit der eingestellten Kriterien, der Qualität der aufgenommenen Signale und der Güte der Erkennungsschaltungen für die oben beschriebenen pathologischen Veränderungen. Eine gute Erkennungsschaltung muß in der Lage sein, zuverlässig jeden QRS-Komplex zu erkennen, auch wenn der Signalverlauf zeitweise durch Störungen wie Wechselspannung, Nullliniendrift oder Muskelartefakte gestört ist.

Die Praxis hat leider gezeigt, daß auch bei teureren Geräten immer wieder Störungen auftreten, die von den Auswerteschaltungen nicht bewältigt werden, daher das Band anhalten und die Auswertezeit verlängern und daß manchmal patho-

logische Signalverläufe vorkommen, die von der Erkennungsschaltung nicht erkannt werden.

Immerhin kann ein erfahrener Beobachter mit modernen Geräten etwa 90 - 95% aller Ereignisse erfassen (32).

4.5.4. Diagnostische Aussagekraft

In Tabelle 3 sind alle diagnostischen Aussagen enthalten, die normalerweise einer Langzeit-EKG-Aufzeichnung entnommen werden können (34). Es handelt sich dabei im wesentlichen um Aussagen über Herzfrequenz, Herzrhythmus und gegebenenfalls Schrittmacherfunktion. Alle pathologischen Ereignisse können mit Hilfe der Auswertecomputer in ihrer Häufigkeit erfaßt, ihre Minima und Maxima pro Zeiteinheit berechnet und ihre klinische Wertigkeit bestimmt werden.

(Tab. 3 siehe Seite 44)

Abschließend soll noch auf einige diagnostische Aussagen hingewiesen werden, die mit Hilfe des Langzeit-EKG im Gegensatz zum Routine-EKG nicht gemacht werden können oder ihm entgehen können:

- da bei den meisten EKG-Langzeit-Aufnahmegegeräten nur eine Ableitung aufgezeichnet wird und die Elektroden meist nicht in den Standardpositionen befestigt werden, lassen sich keine exakten Angaben über den Lagetyp, über Blockbilder, über den Ursprungsort von Heterotopien und über Infarktveränderungen machen

1. Herzfrequenz
 - aktuelle Herzfrequenz in Ruhe und unter Belastung
 - mittlere Herzfrequenz
 - maximale und minimale Herzfrequenz (Tachy- und Bradykardien)
2. Herzrhythmus (Häufigkeit, Minima, Maxima)
 - Sinusrhythmus, Sinusarrhythmie
 - AV-Rhythmus
 - Kammerrhythmus
 - Vorhofflattern, Vorhofflimmern
 - Kammerflattern, Kammerflimmern
 - Vorhoftachykardien, Kammertachykardien
 - Extrasystolien: supraventrikulär, ventrikulär, Salven, R-auf-T-Phänomen
 - Überleitungsstörungen: SA-Block, AV-Block, inkomplette oder komplette Blockierung
 - Pararrhythmien: AV-Dissoziation
Interferenzdissoziation
Parasystolie
3. Verhalten der links ventrikulären ST-Strecke (nur im Zusammenhang mit Symptomen bzw. unter Belastung)
4. Schrittmacherfunktion: Eigenrhythmus SM-Rhythmus
Kombinationssystolen,
Stimulationsausfall
gestörte Demandfunktion

Tab. 3: Diagnostische Aussagen des Langzeit-EKG

- pathologische Veränderungen der ST-T-Strecke bei myokardieller Ischämie können im Langzeit-EKG nur beurteilt werden, wenn die Signalqualität ausreichend ist (kein Nulliniendrift, keine Bewegungs- oder Muskelartefakte) und zusätzlich Angaben des Patienten zu während der Aufnahmeperiode aufgetretenen subjektiven Symptomen (retrosternaler Brustschmerz, Atemnot, Schwindelanfälle) vorhanden sind
- durch mangelnde Signalqualität kann eine Beurteilung der P-Welle erschwert oder unmöglich gemacht werden; das kann zu Schwierigkeiten bei der Erkennung bestimmter Blockbilder (AV-Block, AV-Dissoziation) oder ventrikulärer und supraventrikulärer Extrasystolen führen.

5. Der Cardio-Patho-Cord CPC 100 -

ein neues Gerät zur Langzeit-EKG-Registrierung

Obwohl die Langzeit-EKG-Überwachung das empfindlichste Verfahren zur Erkennung und Diagnose von Herzrhythmusstörungen ist, hat der hohe Anschaffungspreis besonders für die Auswertegeräte (50 000,-- DM bis 90 000,-- DM) bisher leider eine breite Anwendung außerhalb kardiologischer Zentren verhindert.

Der Wunsch, auf die teureren Auswertekomputer verzichten zu können, aber dennoch eine beachtliche Zeitraffung der Auswertedauer gegenüber der Aufnahmedauer zu ermöglichen, führte zum Konzept des Cardio-Patho-Cord CPC 100.

5.1. Allgemeine Funktionsbeschreibung

Der CPC 100 unterscheidet sich von heute gebräuchlichen Gerätesystemen zur Langzeit-EKG-Aufzeichnung dadurch, daß nur als pathologisch erkannte Signale abgespeichert werden; überflüssige Informationen während klinisch unbedeutsamer Phasen werden nicht aufgezeichnet.

Die Wiedergabe der gespeicherten pathologischen Signale kann mit Hilfe jedes handelsüblichen EKG-Schreibers oder Monitors erfolgen.

Hat ein Patient keine Rhythmusstörung, wird bei diesem Gerät abgesehen von bei der Langzeitüberwachung unvermeidbaren Artefakten (Lageänderung, Fehltriggerung, mechanische Einwirkung auf Elektroden, Muskelartefakte, Elektrodenlockerung) nichts aufgezeichnet; die Auswertezeit bei solchen

Patienten ist dann logischerweise minimal.

Bei Patienten mit z.B. häufigen Extrasystolen oder ausgeprägter Sinusarrhythmie steigt die Aufnahmedauer und damit die Auswertezeit entsprechend an; da sich bei solchen Fällen dieselben pathologischen Signale meistens laufend wiederholen, kann oft schon nach Betrachtung eines Teiles der aufgezeichneten Signale die richtige Diagnose gestellt werden.

Der CPC 100 wiegt ca. 1000g und besitzt die Abmessungen 12,5 x 9 x 6,5 cm. Der Patient kann ihn ohne stärkere Belastung in einer am Körper angebrachten Tragetasche mit sich führen. Die EKG-Signale werden vorzugsweise von der Brustwand mittels Elektroden, wie unter Punkt 4.1. beschrieben, abgeleitet.

Um den großen dynamischen Amplitudenbereich der EKG-Signale bei verschiedenen Patienten verzerrungsfrei aufzeichnen zu können, kann das EKG-Signal wahlweise verstärkt werden (3 Bereiche). Im Normalfall verwendet man die Empfindlichkeit 1. Bei Patienten mit EKG-Signalen größerer Amplitude (Dilatation, Hypertrophie) empfiehlt sich die Empfindlichkeit 0.5. Bei Patienten mit starker Fettleibigkeit oder z.B. Lungenemphysem und folglich EKG-Signalen kleinerer Amplitude wählt man die Empfindlichkeit 2.

Der CPC 100 enthält eine Erkennungsschaltung zur Erkennung eines jeden QRS-Complexes, gleich ob er normal oder pathologisch verformt ist.

Die Erkennungsschaltung arbeitet nur optimal, wenn die Herzaktionspotentiale an ihrem Eingang eine Amplitude von 1mV bis 2mV haben. Ob das zutrifft, läßt sich bei Beginn jedes Aufnahmezyklus durch den Ausschrieb eines kleinen Probestreifens erkennen.

Liegt die Amplitude des EKG-Signals nicht im optimalen Bereich, sollte die Empfindlichkeit mit Hilfe des Empfindlichkeitwahlschalters, wie oben beschrieben, nachgestellt werden.

Jeder QRS-Komplex wird durch das Aufleuchten einer an die Außenseite des Gerätes geführten Leuchtdiode angezeigt. Funktionsbereitschaft des CPC 100 und richtige Elektrodenlage lassen sich leicht überprüfen, wenn man den Herzschlag des Patienten auskultiert, und dessen Auftreten mit dem Aufleuchten der Leuchtdiode vergleicht.

Eine Auswerteelektronik analysiert die R-R-Intervalldauer und erkennt, wenn sich die zeitlichen Abstände zwischen den Herzaktionen um mehr als ein einstellbares Maß (3 Bereiche) unterscheiden, das heißt, wenn Herzaktionen vorzeitig oder verspätet eintreffen. Der eingestellte Wert ist dynamisch, paßt sich also physiologischen und nicht sprunghaften Änderungen der Herzfrequenz, z.B. bei körperlichen Belastungen an.

Es lassen sich 3 Bereiche wahlweise einstellen. Wählt man z.B. Bereich 70, so erfaßt man alle dann pathologischen Herzaktionen, die in den Zeitraum vom Ende der letzten R-Zacke bis zum Zeitwert 70% der jeweils letzten R-R-Intervalldauer auftreten. Ebenso werden alle Aktionen, die ab dem Zeitwert 140% der jeweils letzten R-R-Intervalldauer auftreten, automatisch registriert (Abb. 6).

Im Normalfall und bei Erstuntersuchung verwendet man immer Bereich 70. Bereich 50 und 36 erweisen sich als sinnvoll, wenn Extrasystolen mit kurzem Präexcitationsindex (z.B. R-auf-T-Phänomen) vermutet werden, und eventuell schon bekannte Extrasystolen mit längerem Präexcitationsindex nicht aufgezeichnet,

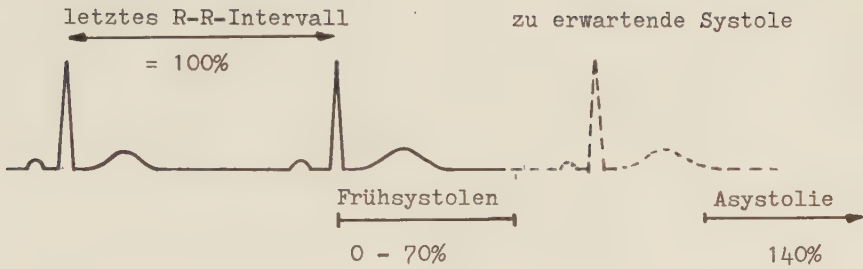


Abb. 6: Bereich 70 zur Erkennung von Frühsystolen und Asystolie

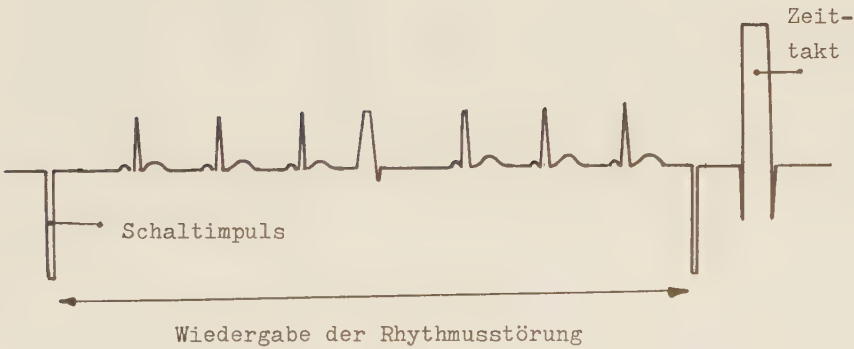


Abb. 7: Darstellung der Schalt- und Zeitimpulse

sondern weggefiltert werden sollen. Man kann damit in einigen Fällen eine noch größere Zeitraffung der Auswertezeit gegenüber der Aufnahmezeit erreichen.

Bei Auftreten eines als pathologisch erkannten Signalverlaufs wird ein Magnetbandspeicher in Gang gesetzt. Dieser speichert etwa 8 Sekunden, wobei 4 Sekunden lang die Herzaktionen vor Eintritt der Intervalländerung infolge einer Rhythmusstörung mitregistriert werden. Treten die Rhythmusstörungen gehäuft oder in kurzen Abständen auf, läuft das Magnetband natürlich entsprechend länger.

Zusätzlich zu der Erkennung von abrupten R-R-Intervalländerungen ist eine Möglichkeit zur Überwachung der Herzfrequenz gegeben. Treten Bradykardien unter 50 Schlägen pro Minute oder Tachykardien über 130 Schlägen pro Minute auf, löst eine Steuerelektronik eine Dauerregistrierung bis zum Ende der pathologischen Veränderung aus.

Das Ende jeder Aufzeichnungsperiode ist bei der Wiedergabe an einem kurzen negativen Rechteckimpuls zu erkennen. Eine Zeitschaltung mit positiven Impulsen nach jeweils 15 Minuten Überwachungsdauer erlaubt eine Antwort auf die Frage, wie viele Ereignisse pro Zeiteinheit aufgezeichnet wurden (Abb. 7).

5.2. Technische Beschreibung mit Hilfe von Blockschaltbildern

Das Blockschaltbild (Abb. 9, s. S. 52) ergibt einen Überblick über die technischen Funktionsblöcke des CPC 100.

Die vom Körper abgeleiteten Herzaktionspotentiale werden mit Hilfe eines Instrumentationsverstärkers mit sehr hohem Eingangswiderstand ($100\text{ M}\Omega$) und einer Gleichtaktunterdrückung von etwa 100 dB etwa 1000-fach verstärkt. Durch die hohe Gleichtaktunterdrückung werden Signale, die mit gleicher Amplitude und Phase an den beiden Eingängen des Verstärkers anliegen (Hochspannung bis zu 1000 V durch statische Aufladung, Netzbrumm), unterdrückt und nur das EKG-Nutzsignal verstärkt.

Anschließend an den Eingangsinstrumentationsverstärker wird das EKG-Signal mit einem Bandfilter beaufschlagt, das eventuell vorhandene störende Frequenzanteile unterhalb 0.1 Hz und oberhalb 100 Hz wegfiltert (Abb. 8).

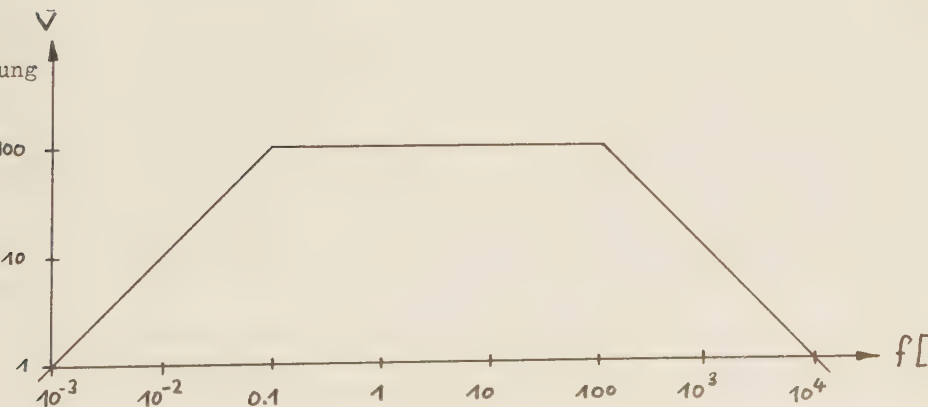
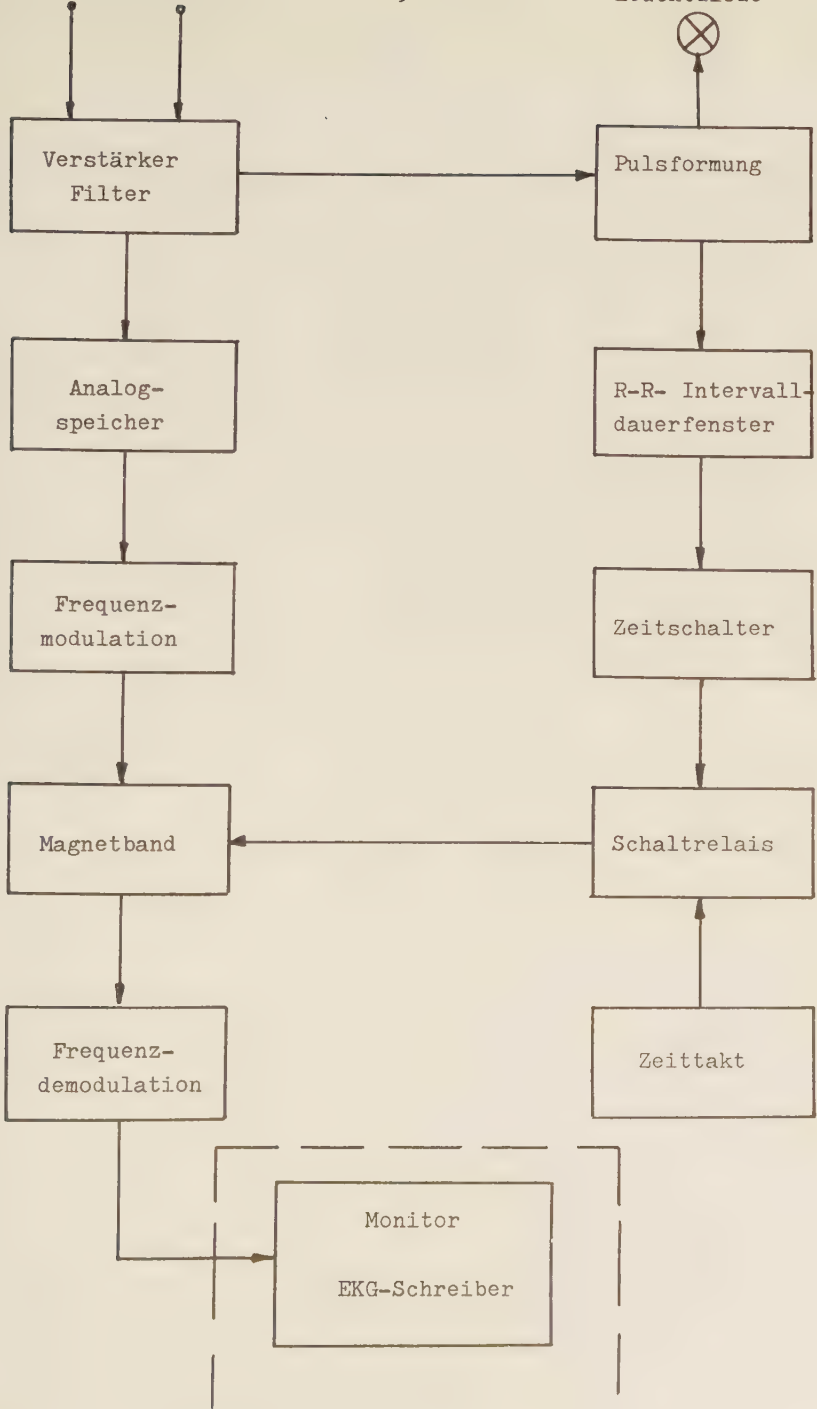


Abb. 8: Bandfilter



Das Ausgangssignal des Filters wird einer Pulsformerschaltung und einem Durchlaufspeicher zugeführt.

Die Pulsformerschaltung hat die Aufgabe, den QRS-Komplex des EKG-Signals, und nur diesen, auch bei Störungen des Signalverlaufs, sicher zu erkennen und in einen Rechteckimpuls umzuformen.

Zu diesem Zweck wird das Signal an den Eingang eines Hochpasses mit einer Grenzfrequenz von 10 Hz geschaltet, der niederfrequente Nulllinienschwankungen und Artefakte auf Grund von Bewegung oder Berührung der Elektroden im Frequenzbereich von 0 - 10 Hz eliminiert. Auf Grund dieser Maßnahme ist eine zuverlässige Erkennung des QRS-Komplexes mit Hilfe eines auf das Filter folgenden Schwellwertschalters möglich (Abb. 10).

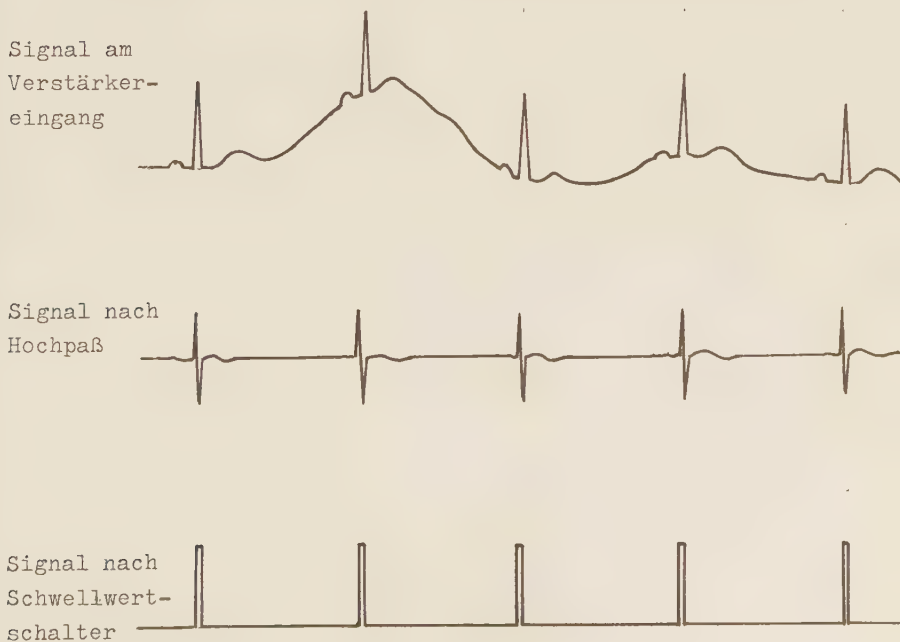


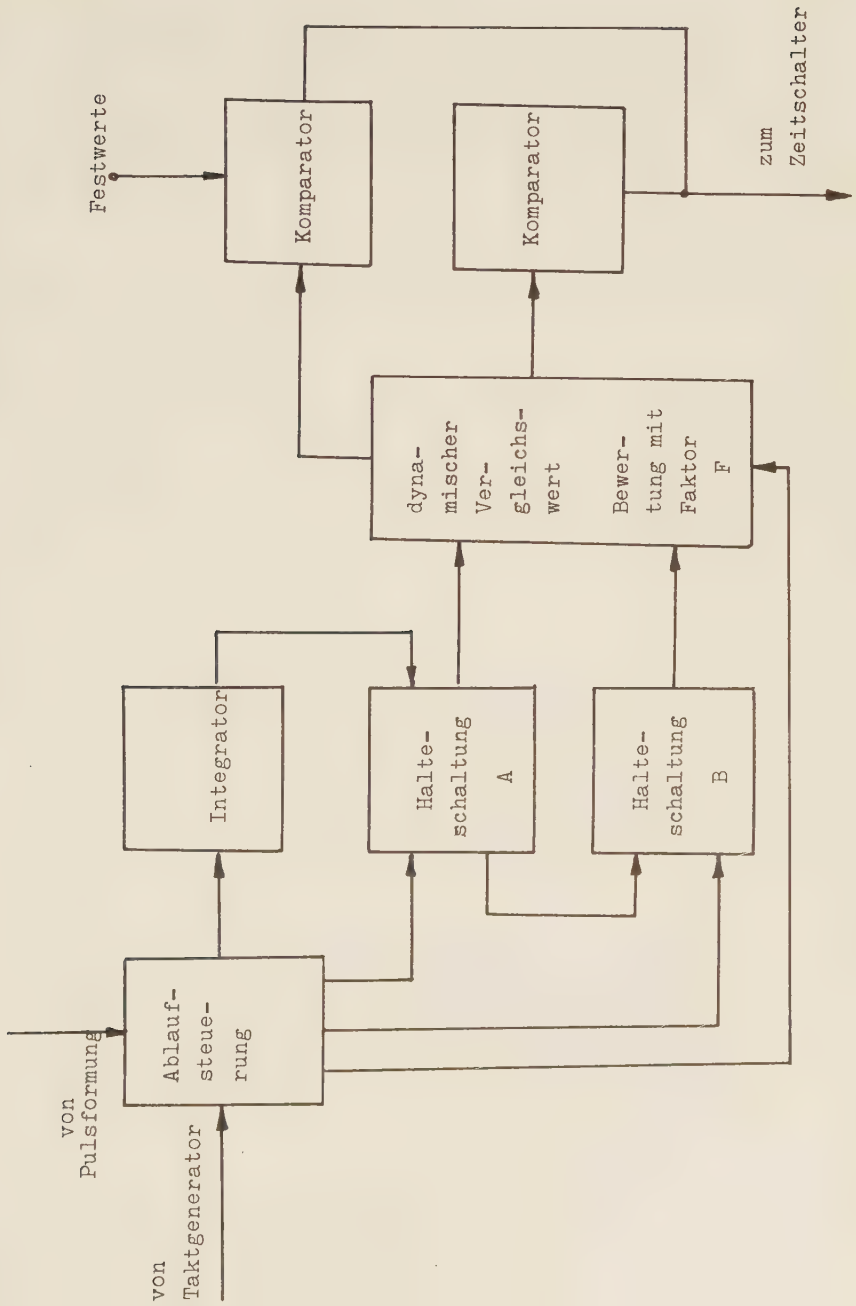
Abb. 10: Pulsformerschaltung

Das Auftreten des bei jedem QRS-Komplex aus der Pulsformerschaltung kommenden Rechteckimpulses wird mit Hilfe einer an die Außenseite des Gerätes geführten Leuchtdiode angezeigt.

Die Rechteckimpulse werden einer Auswerteelektronik zugeführt, die zwischen gesunden und speziellen pathologischen Herzsignalverläufen unterscheiden, indem sie die Intervalldauer des R-Zacken des EKG-Signals analysiert und auswertet. Diese Auswerteelektronik erkennt, ob sich die zeitlichen Abstände zwischen den jeweils beiden letzten in das Gerät einlaufenden QRS-Komplexen um mehr als ein einstellbares Maß unterscheiden oder ob die QRS-Komplexe dauerhaft in zu langsamem oder zu schnellem Abstand aufeinanderfolgen. Die Funktion dieses sogenannten R-R-Intervalldauerfensters soll an Hand von Abb. 11 (s. S. 55) erläutert werden.

Proportional zum jeweiligen Abstand der R-Zacken wird an einem Integrator eine analoge rampenförmige Spannung gebildet. Die beiden jeweils letzten den zeitlichen Intervallen zwischen den R-Zacken entsprechenden Spannungen werden in Halteschaltungen zwischengespeichert und anschließend verglichen. Dieser Vergleich geschieht, indem die Spannungen voneinander subtrahiert werden und die resultierende Spannung U_x als Vergleichswert für einen Komparator dient. Überschreitet der Vergleichswert einen gewissen einstellbaren Wert U_y (das heißt, der Unterschied der Herzaktionsintervalle ist zu groß oder zu klein), so wird ein Impuls ausgelöst, der veranlaßt, daß das Magnetbandaufzeichnungsgerät für eine gewisse Zeit die Herzaktionspotentiale speichert.

Der einstellbare Spannungswert U_y darf kein Festwert sein, sondern muß ein dynamisch mit der Herz-



frequenz sich ändernder Wert sein, weil bei unterschiedlichen Herzfrequenzen bei einer Intervalländerung der Differenzwert U_x der den R-Zackenabständen entsprechenden Spannungen verschieden groß ist (Abb. 12).

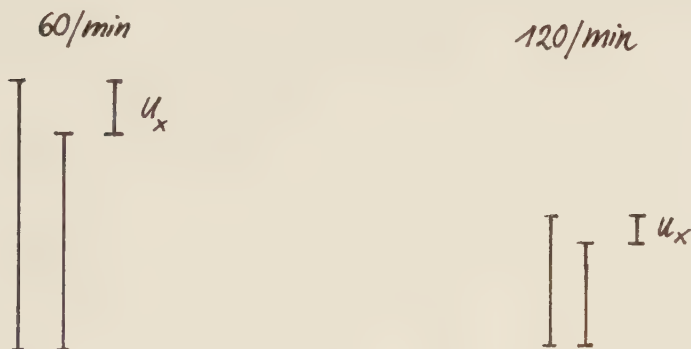


Abb. 12: Differenzwert U_x bei verschiedenen Herzfrequenzen und 20% Intervalländerung

Die Dynamisierung des einstellbaren Komparatorwertes U_y wird erreicht, indem man die in den Halteschaltungen gespeicherten Spannungen aufaddiert und mit einem Faktor $\frac{1}{F}$ bewertet.

Dieser einstellbare Faktor $\frac{1}{F}$ bestimmt, welcher Unterschied der Intervalldauer zweier aufeinanderfolgender QRS-Komplexe als gesund oder pathologisch angesehen werden soll. Wie weiter oben schon beschrieben, gibt es im CPC 100 die 3 einstellbaren Bereiche 70, 50, 36.

Folgendes Rechenbeispiel erleichtert das Verständnis obiger Überlegungen:

a und b seien die in den Halteschaltungen gespeicherten Spannungen, der einstellbare Faktor sei $\frac{1}{F}$.

a - b dient als Vergleichswert U_x für den Komparator
a + b entspricht dem dynamischen Komparatorwert U_y

Aus folgender Ungleichung ergibt sich:

$$(a - b) > \frac{1}{F} (a + b) \quad \text{oder}$$

$$a > \frac{F + 1}{F - 1} b \quad \text{für } a > b$$

bzw.

$$b > \frac{F + 1}{F - 1} a \quad \text{für } b > a$$

Für F = 6 erhält man z.B.

$$a > \frac{7}{5} b \quad \text{bzw.} \quad b > \frac{7}{5} a,$$

was dem Bereich 70 entspricht.

Zwei zusätzliche Komparatoren haben als einstellbaren Wert einen Festwert. Mit ihnen wird festgelegt, wenn das Herz absolut zu langsam oder zu schnell schlägt (Bradykardie, < 50/min, Tachykardie > 130/min).

Eine Ablaufsteuerung ermöglicht den folgerichtigen Befehlsablauf in jeder Vergleichsperiode.

Mit Hilfe des Steuerimpulses des R-R-Intervalldauerfensters (bei Auftreten einer als pathologisch erkannten Veränderung) wird ein wiedertriggerbarer Zeitschalter betätigt, der ein Magnetbandaufzeichnungsgerät für 8 Sekunden in Gang setzt. Treten mehrere pathologische Veränderungen in Serie auf, läuft das Magnetband entsprechend länger.

Da nur die vom R-R-Intervalldauerfenster als pathologisch erkannten Herzsignale gespeichert werden, wird

die große Menge klinisch unbedeutsamer Herztätigkeit während einer mehrstündigen Aufnahmezeit unterdrückt. Man spart Speicherplatz und verkürzt die Auswertedauer drastisch.

Für eine zuverlässige medizinische Diagnosestellung erscheint es notwendig, einige der pathologischen Veränderung vorangehende und nachfolgende Herzaktionspotentialle auf dem Magnetband mit abzuspeichern.

Diese Aufgabe bewerkstelligt ein Analogdurchlaufspeicher, der eine Speicherkapazität von 4 Sekunden hat und von den Herzaktionspotentialen kontinuierlich beaufschlagt wird.

Wird das Magnetband, wie oben beschrieben durch eine pathologische Herzsignalveränderung für 8 Sekunden in Gang gesetzt, so bewirkt der Durchlaufspeicher, daß in jedem Fall einige der pathologischen Veränderung vorangehende und nachfolgende Herzaktionspotentialle und die pathologische Veränderung selbst auf dem Magnetband abgespeichert werden (Abb.13).

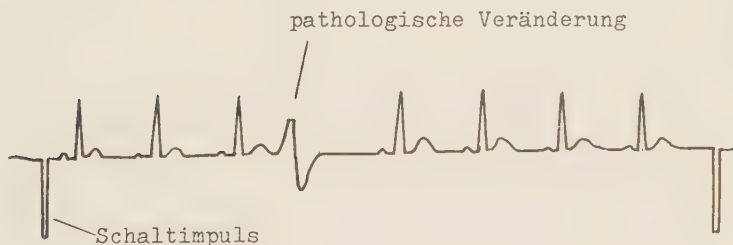


Abb. 13: Normaler Aufnahmezyklus

Alle 15 Minuten wird ein Zeitmarkierungsimpuls, der von einem elektronischen Zähler abgegeben wird, auf das Magnetband aufgespielt.

Da im Herzsignal tiefe Frequenzanteile enthalten sind und diese auf Grund der Übertragungscharakteristik des Magnetbandtonkopfes nicht direkt auf das Magnetband übertragen werden können, muß eine Schaltung zur Frequenzmodulation bei der Aufnahme und eine Schaltung zur Frequenzdemodulation bei der Wiedergabe eingefügt werden.

Oberstes Gebot bei der Konzeption des CPC 100 war es, das räumliche Ausmaß und den Stromverbrauch möglichst klein zu halten. Es wurden deshalb nach Möglichkeit nur hochintegrierte, miniaturisierte, stromsparende Bauelemente verwendet.

Das Gerät kann mit Batterien, Akkumulatoren und im Netzpufferbetrieb betrieben werden. Je nach Ausstattung kann die Überwachungszeit im mobilen Betrieb bis zu 30 Stunden betragen. Der Netzpufferbetrieb unterliegt keinen zeitlichen Beschränkungen. Magnetbandkassetten und Batterien oder Akkumulatoren sind innerhalb von Sekunden auswechselbar.

5.3. Diagnostische Aussagekraft des CPC 100 im Vergleich zu herkömmlichen Langzeit-EKG-Aufzeichnungsgeräten

Als Anwendungsmöglichkeiten für den CPC 100 kommen sämtliche Indikationen in Frage, die eine Langzeit-EKG-Aufzeichnung ratsam erscheinen lassen:

- koronare Herzerkrankung mit Verdacht auf HRS
- Verdacht auf kardial bedingte zerebrale Insuffizienz
- Verdacht auf intermittierende HRS unbekannter Genese

- Sonstige zu Arrhythmien neigende Herz-
erkrankungen
- Überwachung von Schrittmacherpatienten
- Überwachung einer antiarrhythmischen
Therapie

Diese Indikationen wurden in Punkt 3 eingehend abge-
handelt.

Aufgrund der Beschränkung auf die Aufzeichnung nur
der pathologischen Signalverläufe und der Technik
der Erkennung der pathologischen Signalverläufe ist
die diagnostische Aussagekraft gegenüber herkömm-
lichen Langzeit-EKG-Aufnahmegeräten geringfügig ein-
geschränkt:

- da nur pathologische Signale aufgezeichnet
werden, lassen sich natürlich keine Angaben
über den Herzfrequenzverlauf während der
Aufnahmeperiode machen, es sei denn, die
Herzfrequenz sinkt unter 50 Schläge pro
Minute oder steigt über 130 Schläge pro
Minute. In diesen Fällen wird ja bekannt-
lich im CPC 100 eine Dauerregistrierung
ausgelöst.
- Fallen pathologische Signale in die von
der R-R-Intervalldauer-Erkennungslogik
des CPC 100 als normal betrachteten Bereich,
so können diese nicht auf Magnetband auf-
gezeichnet werden. Beim Bereich 70 handelt
es sich dabei um das Intervall vom Zeit-
wert 70% bis zum Zeitwert 140% der je-
weils letzten R-R-Intervalldauer.
(Abb. 14)

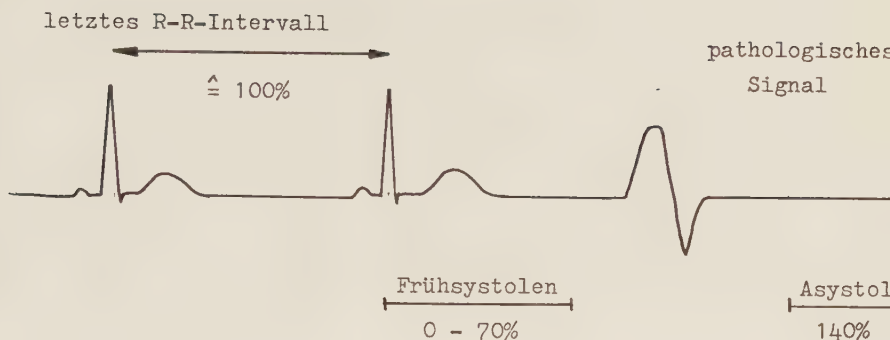


Abb. 14: Nicht als pathologisch erkanntes pathologisches Signal im Bereich 70

- da nur die Intervalldauer zwischen den QRS-Komplexen als Erkennungskriterium für pathologische Veränderungen verwendet wird, können alle die Überleitungsstörungen von den Vorhöfen auf die Kammern nicht erkannt und damit registriert werden, die keine abrupten Intervalländerungen der Kammeraktionen verursachen (AV-Block 1. Grades, manchmal AV-Dissoziation, Interferenzdissoziation, Vorhofflattern bei konstanter Überleitung und Kammerfrequenz unter 130 pro Minute, wandernder Schrittmacher mit Kammerfrequenz über 50 pro Minute).

Alle anderen bekannten Herzrhythmusstörungen können vom CPC100 erkannt und aufgezeichnet werden.

5.4. Testreihen

Es wurde versucht, den CPC 100 möglichst vielfältigen Testsituationen auszusetzen, um zuverlässige Angaben über seine Funktionstüchtigkeit zu erhalten.

Im folgenden werden die Ergebnisse einer Versuchsreihe mit 65 Patienten in Bad Reichenhall (44), eine Erprobung des CPC 100 mit Hilfe eines EKG-Simulators, der Einsatz des CPC 100 in der kardiologischen Wachstation der 1. Medizinischen Klinik der TU-München und die Testung im mobilen Einsatz mit einer Aufnahmezeitdauer von etwa 10 Stunden beschrieben.

5.4.1. Versuchsreihe mit 65 Patienten in Bad Reichenhall

Der CPC 100 wurde während der 2. Jahreshälfte 1978 im Krankenhaus Bad Reichenhall bei 65 Patienten eingesetzt (8). Tabelle 4 gibt Aufschluß über die verschiedenen Anwendungen und Untersuchungsergebnisse.

Die Gesamtüberwachungsdauer bei den Versuchen betrug 6600 Minuten, die Wiedergabe 760 Minuten, dies entspricht einer 9-fachen Zeitraffung.

Der Unterschied von Wiedergabe- und Aufnahmezeit hängt natürlich stark vom Patientengut ab.

Bei gesunden Individuen oder Patienten mit nur seltenen Rhythmusstörungen ist die Wiedergabezeit im Vergleich zur Aufnahmezeit wesentlich geringer als bei Patienten mit z.B. absoluter oder ausgeprägter Sinusarrhythmie, bei denen nicht selten eine Dauerregistrierung

Indikation zur Langzeitüberwachung	Zahl der untersuchten Fälle	positives Ergebnis	Diagnose
Schwindelattacken synkopale Anfälle	19	9	intermittierende Sinusbrady- kardie (5); intermittierender totaler AV-Block (4); abso- lute Arrhythmie bei Vorhof- flimmern (1)
Extrasystolen im Ruhe-EKG	17	17	monotope supraventrikuläre oder ventrikuläre ES geringer Frequenz (9); intermittierende absolute Arrhythmie (2); poly- tope ventrikuläre ES (4); polytope ventrikuläre ES mit Neigung zur Salvenbildung (1); ES mit kurzem Präexcitations- index (1);
Beurteilung der Wirksamkeit eines Antiarrhythmikums	9	7	Therapieerfolg nachgewiesen (7); Wirkungslosigkeit eines Anti- arrhythmikums (2);

Tab. 4: Einsatz des CPC 100 in Bad Reichenhall

Indikation zur Langzeitüberwachung	Zahl der untersuchten Fälle	positives Ergebnis	Diagnose
Rehabilitation nach Herzinfarkt	10	4	zu hohe Pulsbeschleunigung und Ektopienergieung bei phy- sischer Belastung (4)
Funktionelle Herz- beschwerden	4		
Schrittmacher- funktionsprüfung	6		wesentliche Kriterien für normale Schrittmacherfunk- tion erkennbar - Stimulationsfrequenz - Demandfunktion

Tab. 4: Einsatz des CPC 100 in Bad Reichenhall

ausgelöst wird.

Es soll nicht verschwiegen werden, daß bei einer mehrstündigen Aufnahmezeit in fast allen Fällen auch bei Patienten ohne Rhythmusstörungen durch Artefakte einige Registrierungen ausgelöst werden. Als Ursache für derartige unerwünschte Registrierungen kommen in Frage:

- Elektrodenlockerung
- Austrocknen des Elektrodengels
- mechanische Einwirkung auf die Elektroden
- starke Muskelaktionspotentiale
- Fehltriggerung des QRS-Komplexes bei starken Schwankungen der Isoelektrischen: a) Nichterkennung der R-Zacke
b) Doppeltriggerung bei R-Zacke und ST-Strecke

Diese unerwünschten Registrierungen sind jedoch vom Auswerter fast immer auf den ersten Blick erkennbar und verlängern die Auswertezeit nur unwesentlich.

Im folgenden sollen einige beispielhafte Untersuchungsergebnisse dargestellt werden, die im Krankenhaus Bad Reichenhall erstellt wurden.

Fall 1:

Indikation: Kontrolle einer Neo-Gylurytmal-Therapie

Aufnahmedauer: 120 min Ruhe, 20 min Belastung

Wiedergabedauer: 8 min

Die Zahl der Extrasystolen hat durch die Therapie wesentlich abgenommen; es finden sich in Ruhe nur ganz vereinzelt monotope ventrikuläre ES. Unter Belastung kommt es zu einem Frequenzanstieg auf über 100/min. Es finden sich ebenfalls nur einzeln eingestreute ventrikuläre ES.

Beurteilung: Neo-Gylurytmal-Therapie scheint günstig zu sein

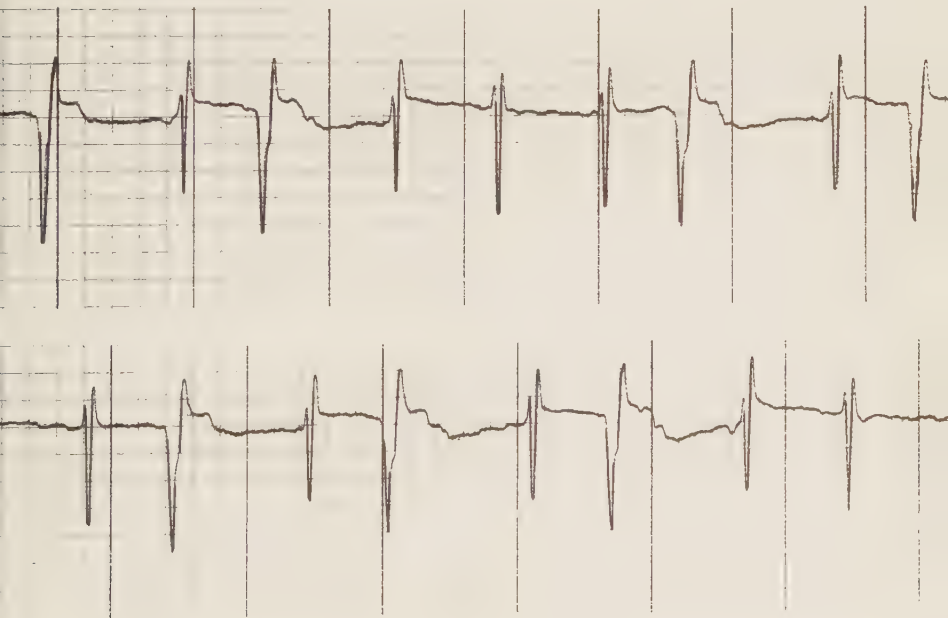


Abb. 15: Charakteristisches Untersuchungsergebnis

Fall 2:

Indikation: Kontrolle einer antiarrhythmischen Therapie

Aufnahmedauer: 120 min in Ruhe

Wiedergabedauer: 2 min

Die Zahl der Extrasystolen hat durch die Therapie deutlich abgenommen; es finden sich nur noch einzeln eingestreute supraventrikuläre und ventrikuläre ES.

Beurteilung: Sehr guter Erfolg der antiarrhythmischen Therapie

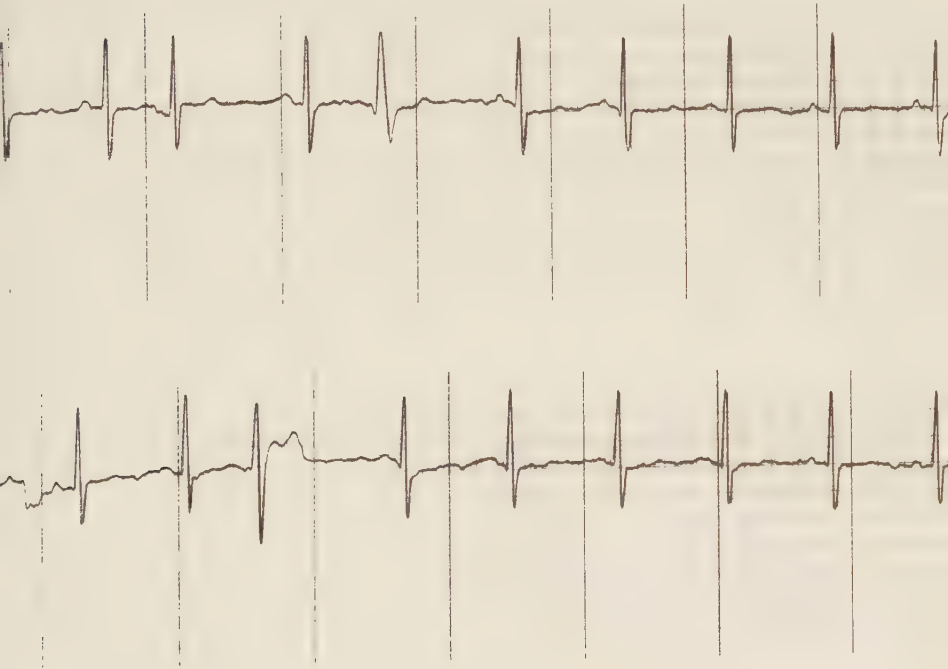


Abb. 16

Fall 3:

Indikation: Beurteilung von Mexilitin bei polytoper ventrikulärer Extrasystolie.

Aufnahmedauer: 60 min

Wiedergabedauer: 4 min

Es finden sich Phasen mit einer Bradycardie von 40 -42 Schlägen pro Minute, gegen Ende der Aufnahmedauer sind supraventrikuläre ES teils im Bigeminusrhythmus zu erkennen. Kein Hinweis für ventrikuläre ES.

Beurteilung: Soweit in diesem kurzen Zeitraum beurteilbar, erscheint Mexilitin-Therapie erfolgreich

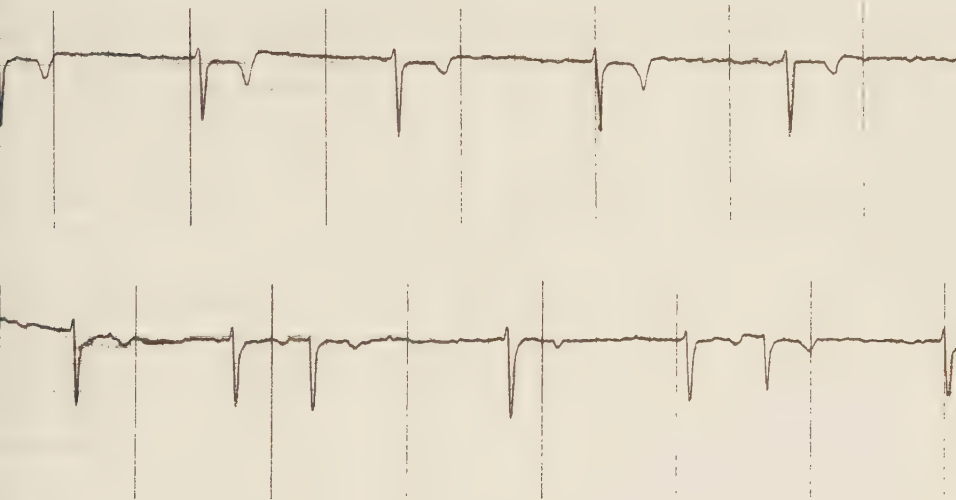


Abb. 17

Fall 4:

Indikation: Cor pulmonale mit Rhythmusstörungen im Ruhe-EKG.

Aufnahmedauer: 45 min Belastung; 45 min Ruhe;

Wiedergabedauer: 20 min

Es findet sich in Ruhe ein regelmäßiger Sinusrhythmus mit Frequenz von 85/min; es sind ferner einzelne supraventrikuläre und ventrikuläre Extrasystolen mit zwei unterschiedlichen Ursprüngen zu erkennen. Mehrfach kommt es zur schnellen Aufeinanderfolge von 2 ventrikulären Extrasystolen.

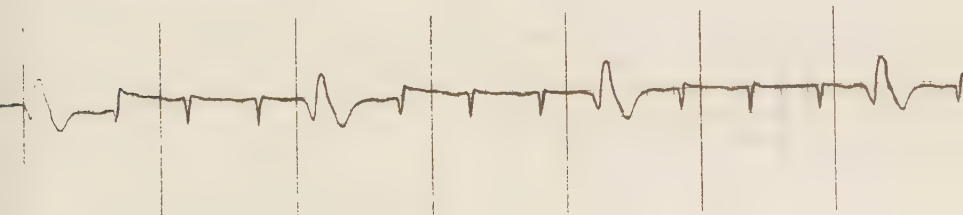
Unter Belastung sind ausschließlich monotope ventrikuläre Extrasystolen zu erkennen, die Frequenz steigert sich bis auf 124/min.

Beurteilung: Bedrohliche ventrikuläre Extrasystolie, die anhand des Bandspeicher-EKG therapiebedürftig erscheint.

Ruhephase:



Belastungsphase:



Fall 5:

Indikation: fragliche Rhythmusstörungen

Aufnahmedauer: 120 min

Wiedergabedauer: 17 min

Es finden sich ventrikuläre Extrasystolen einzeln eingestreut mit 2 unterschiedlichen Ursprüngen.

Beurteilung: Rhythmusstörung erscheint nicht bedrohlich

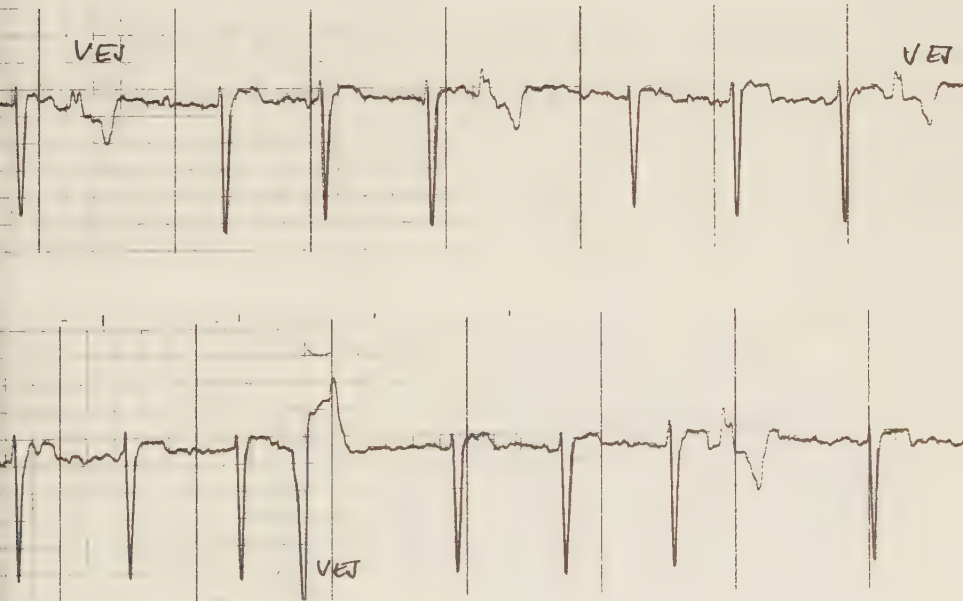


Abb. 19

Fall 6:

Indikation: Schrittmacherfunktionsüberprüfung.

Es findet sich über weite Strecken ein regelmäßiger Sinusrhythmus mit Frequenz von 75/Min. Zwischenzeitlich kommt es zu Phasen von ausschließlich schrittmacherinduzierten Kammerkomplexen, wobei die Frequenz bei 72/Min. liegt. Der Schrittmacher inhibiert völlig einwandfrei.

Beurteilung: Normal funktionierender Demand-Schrittmacher.

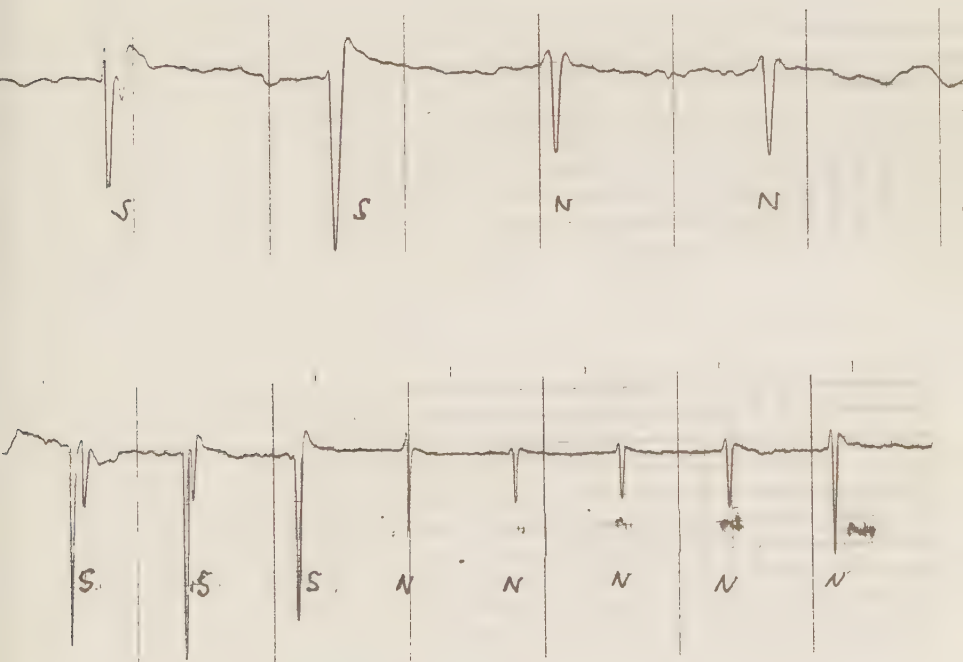


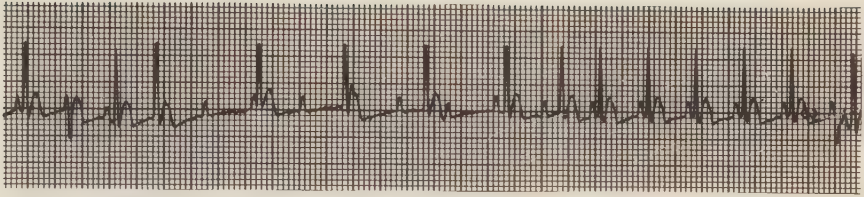
Abb. 20

5.4.2. Erprobung des CPC 100 mit einem EKG-Simulator

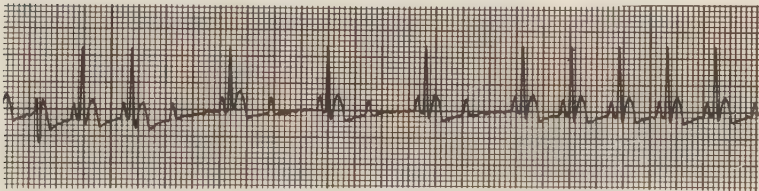
Der zur Testung des CPC 100 verwendete EKG-Simulator kann sowohl normale als auch pathologische Herztätigkeit (AV-Block, Vorhofflimmern, Vorhofextrasystolen, Kammerextrasystolen, S-A-Block, Bradykardie, supraventrikuläre und ventrikuläre Tachykardie) für beliebig lange Zeit erzeugen. Alle Signale können in Frequenz und Amplitude in weiten Grenzen variiert werden.

Mit Hilfe des Simulators konnte nachgewiesen werden, daß der CPC 100 alle eben erwähnten und in den Abbildungen 21 und 22 dargestellten pathologischen Veränderungen erkennt und aufzeichnet, sofern die pathologischen Veränderungen sich durch eine abrupte Intervalländerung oder zu schnelle oder zu langsame Aufeinanderfolge des QRS-Komplexes zeigen. Ebenso konnte gezeigt werden, daß der CPC 100 bei normaler Herztätigkeit mit einer Frequenz zwischen 50 bis 130 Schlägen/min nur alle 15 Minuten einen Zeitimpuls auf das Magnetband abspeichert (Abb. 23).

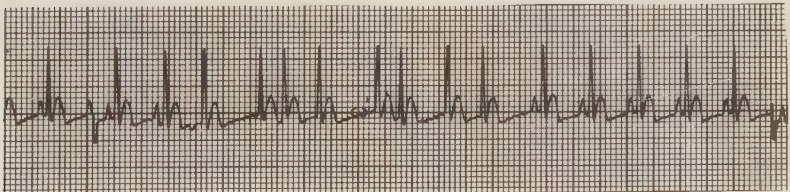
Die Testung des CPC 100 mit Hilfe eines EKG-Simulators stellt allerdings einen in der Praxis oft nicht realisierbaren Idealfall dar, da die Signalfolge völlig artefaktfrei über beliebig lange Zeit erzeugt werden kann. In der Praxis muß vielmehr während einer mehrstündigen Überwachungszeit mit einigen Artefakten (Muskel-potentiale, Bewegungsartefakte, mechanische Einwirkung auf die Elektroden) gerechnet werden, die von der Erkennungslogik nicht von pathologischen Signalen unterschieden werden können und folglich einen unerwünschten Registrierungs-vorgang auslösen.



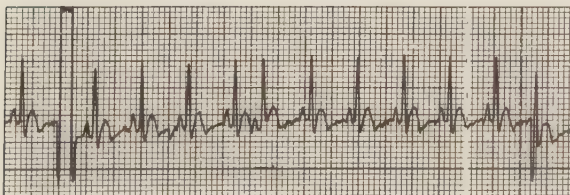
AV-Block-Wenckebach



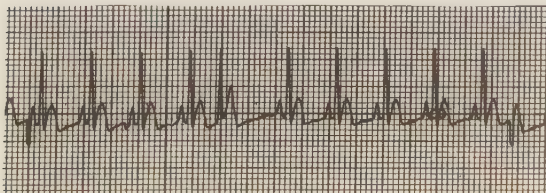
AV-Block



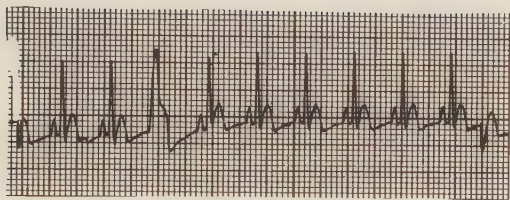
Vorhofflimmern



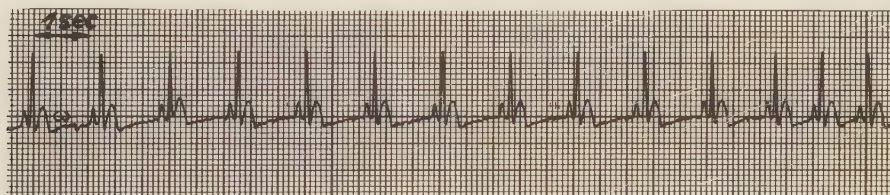
Vorhofextrasystolen



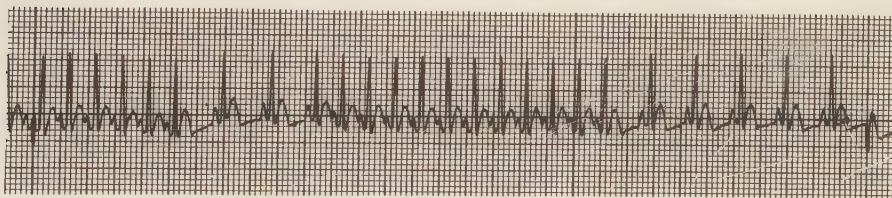
Kammerextrasystolen ohne Verformung des Kammerkomplexes



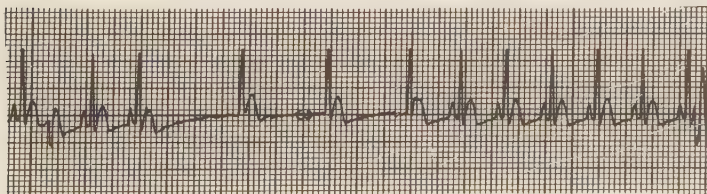
Kammerextrasystolen mit Verformung des Kammerkomplexes



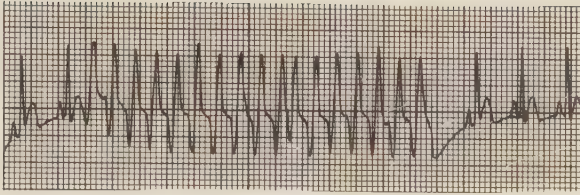
Bradykardie



Tachykardie



SA-Block



Ventrikuläre Tachykardie

Abb. 21: Mit dem EKG-Simulator erzeugte und vom CPC 100 aufgezeichnete pathologische EKG-Signale

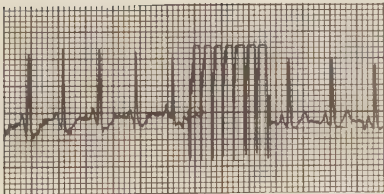


Abb. 22: 7 Zeitimpulse in Folge (7 x 15 = 105 Minuten Überwachungszeit)

5.4.3. Korrelation der vom CPC 100 gespeicherten Signale mit einem kontinuierlich aufzeichnenden Trommelspeicher

Die oben angeführten Untersuchungsergebnisse aus Bad Reichenhall haben aufgezeigt, daß mit dem CPC 100 Herzrhythmusstörungen erkannt und dokumentiert werden können, die sich durch eine abrupte Intervalländerung oder durch zu schnelle oder zu langsame Folge der Kammeraktionen manifestieren.

Es fehlt aber noch der sichere Nachweis, daß alle pathologischen Ereignisse dieser Art während einer vorgegebenen Überwachungsdauer registriert werden und nicht einige übersehen werden.

In der kardiologischen Wachstation der 1. Med. Klinik des Krankenhauses r. d. Isar bestand die Möglichkeit, diesen Nachweis zu führen, indem bei mehreren Patienten die Herztätigkeit mit Hilfe des CPC 100 überwacht und gleichzeitig die gesamte Herztätigkeit während einer vorgegebenen Aufnahmezeit auf einem Trommelspeicher aufgezeichnet wurde (Abb. 23).

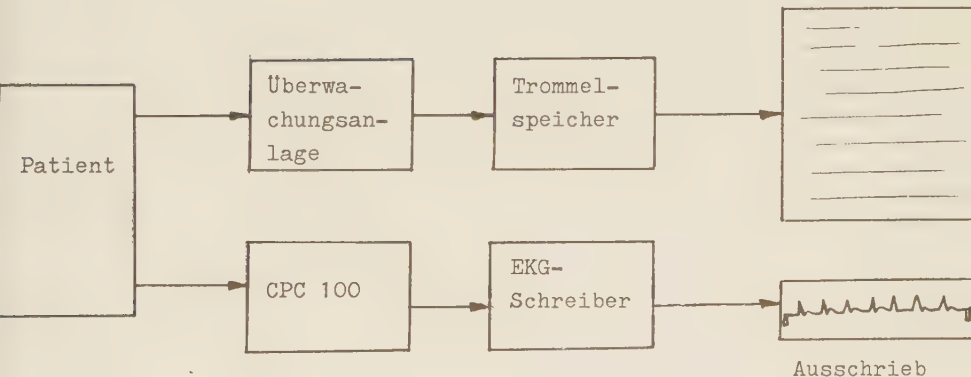


Abb. 23: Überwachung der Herztätigkeit mit dem CPC 100 und gleichzeitige Aufzeichnung der Herztätigkeit mit Hilfe eines Trommelspeichers

Zur Auswertung wurden alle pathologischen Ereignisse auf dem Trommelspeicherblatt markiert und numeriert und anschließend verglichen, ob diese vom CPC 100 erkannt und dokumentiert wurden.

Im folgenden sollen einige Untersuchungsergebnisse näher dargestellt werden.

Die Untersuchungsbeispiele zeigen, daß der CPC 100 tatsächlich alle pathologischen Veränderungen aufzeichnet, die sich durch eine abrupte Intervalländerung der Herzschlagfolge (mehr als 30% = Bereich 70) oder durch eine zu schnelle oder zu langsame Herzschlagfolge manifestieren (< 50 oder > 130 Schläge/min).

Extrasystolen aus den Vorhöfen oder Kammern, die eine Intervalländerung von weniger als 30% hervorrufen, können vom CPC 100 nicht erkannt werden. Extrasystolen dieser Art sind jedoch nur sehr selten anzutreffen.

Fall 7:

Aufnahmedauer: 30 min

VES (3 Ursprünge): 196 sec

Wiedergabedauer: 196 sec

Artefakte: 0 sec

2 Zeittakte

Kommentar: Der Ausschrieb zeigt ventrikuläre Extrasystolen dreierlei Ursprungs. Alle auf dem Trommelblatt befindlichen pathologischen Signale wurden auch vom CPC 100 erkannt und gespeichert. Der Patient lag während der Überwachungszeit ruhig im Bett. Auf dem Trommelblatt wie auf dem Ausschrieb des CPC 100 befinden sich keine Artefakte.

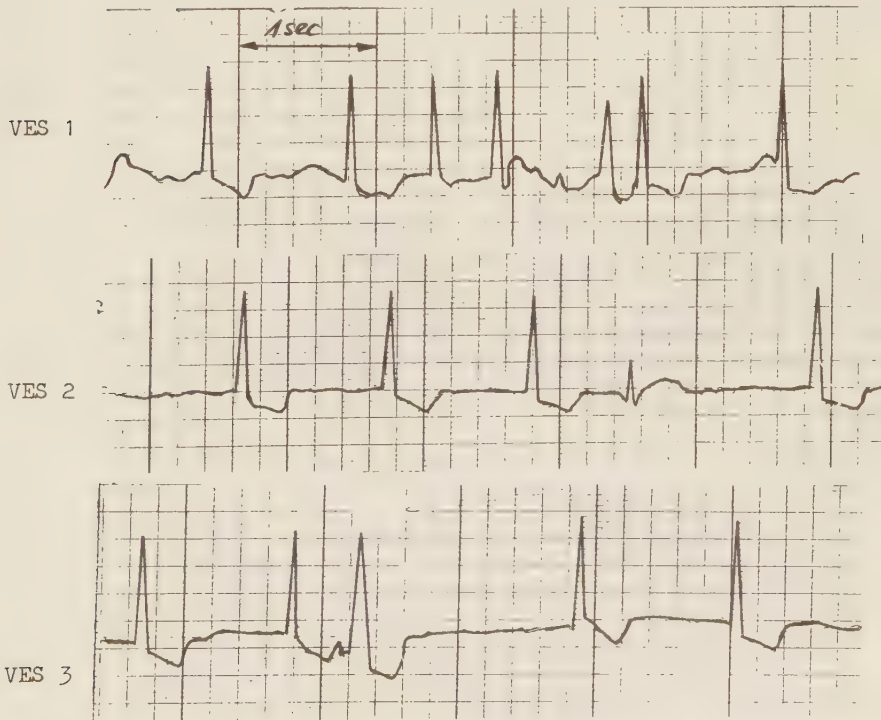


Abb. 24: Charakteristisches Untersuchungsergebnis des CPC 100 im stationären Einsatz in der kardiologischen Wachstation

Fall 8:

Aufnahmedauer: 30 min

VES: 10 sec

Wiedergabedauer: 260 sec

Bradykardie: 240 sec

Artefakte: 10 sec

2 Zeittakte

Kommentar: Der Ausschrieb zeigt eine Bradykardie von 45 bis 50 Schlägen/min und eine ventrikuläre Extrasystole. Ein Artefakt durch Muskelpotentiale ist sowohl auf dem Trommelblatt wie auf dem Ausschrieb des CPC 100 zu erkennen. Alle auf dem Trommelblatt befindlichen pathologischen Signale wurden auch vom CPC 100 erkannt und gespeichert.

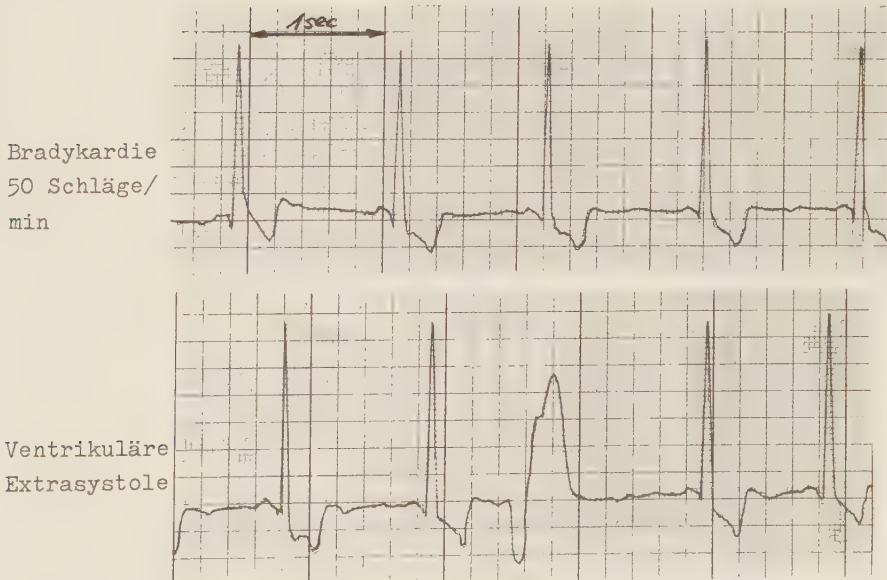


Abb. 25: Charakteristisches Untersuchungsergebnis

Fall 9:

Aufnahmedauer: 60 min

patholog. Signale: 0 sec

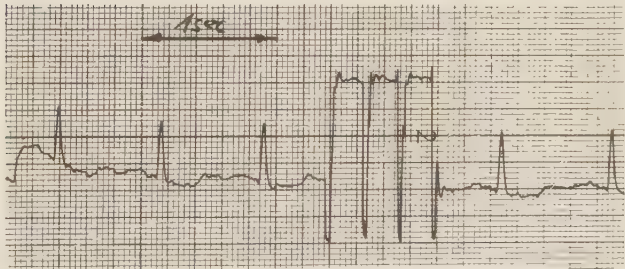
Wiedergabedauer: 10 sec

Artefakte: 10 sec

3 Zeittakte

Kommentar: Es wurde ein Patient überwacht, der bekannterweise zu diesem Zeitpunkt keine Extrasystolen hatte, um zu überprüfen, ob der CPC 100 einwandfrei arbeitet und keine Signale speichert. Da der Patient sehr ruhig lag, wurden keine Artefakte registriert bis auf eines, das absichtlich durch Elektrodenberührung zu Ende der Überwachungszeit ausgelöst wurde. Der Aus-schrieb des CPC 100 zeigt 3 Zeittakte in Folge.

3 Zeit-
takte in
Folge



durch
Elektroden-
berührung
ausgelöstes
Artefakt

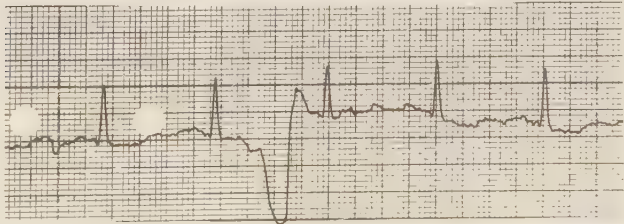


Abb. 26: Charakteristisches Untersuchungsergebnis

Fall 10:

Aufnahmedauer: 30 min

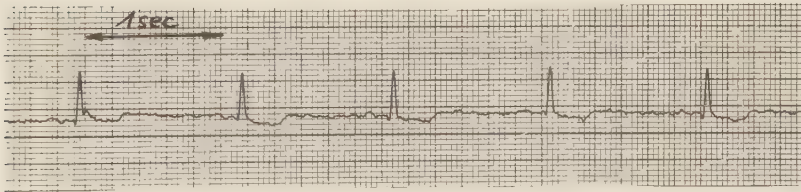
Bradykardie: 54 sec

Wiedergabedauer: 128 sec

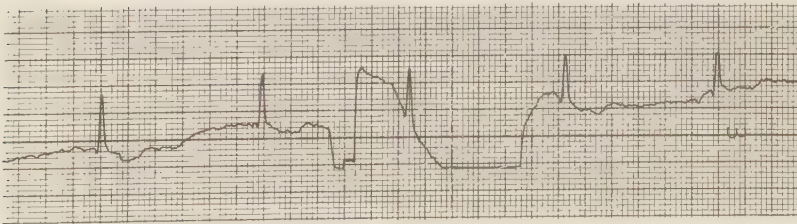
Artefakte: 74 sec

2 Zeittakte

Kommentar: Der Ausschrieb zeigt eine Bradykardie mit 48 bis 50 Schlägen/min. Alle auf dem Trommelblatt befindlichen pathologischen Signale wurden auch vom CPC 100 erkannt und gespeichert.



Bradykardie mit 50 Schlägen/min



Artefakte

Abb. 27: Charakteristisches Untersuchungsergebnis

Fall 11:

Aufnahmedauer: 30 min

VES (in Salven): 83 sec

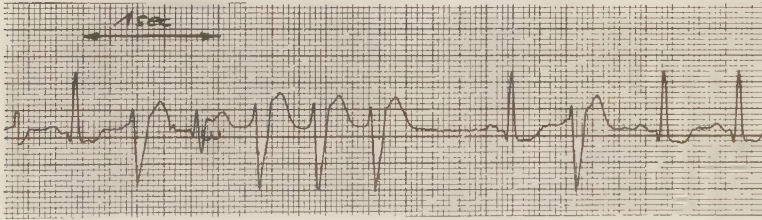
Wiedergabedauer: 120 sec

Artefakte: 37 sec

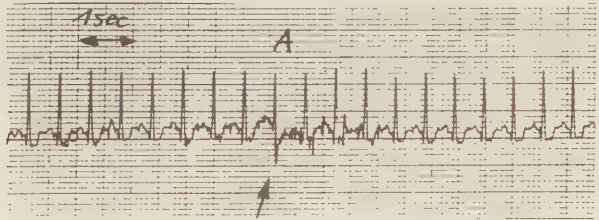
2 Zeittakte

Kommentar: Der Ausschrieb zeigt ventrikuläre Extrasystolen, teilweise in Salven. Einige ventrikuläre Extrasystolen wurden vom CPC 100 nicht erkannt, da die durch sie hervorgerufene Intervalländerung nicht groß genug war (sie fielen in das Intervall von 70% bis 140% der jeweils letzten R-R-Intervalldauer).

VES in
Salven



Artefakte



vom CPC 100
nicht er-
kannte VES
(außerhalb
des Be-
reichs 70)

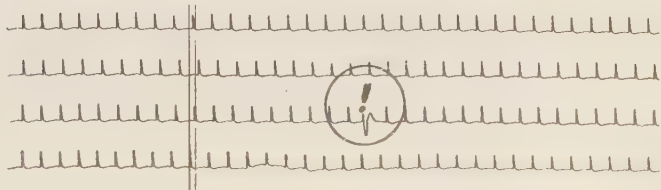


Abb. 28: Charakteristisches Untersuchungsergebnis

Fall 12:

Aufnahmedauer: 15 min

VES (polytop): 196 sec

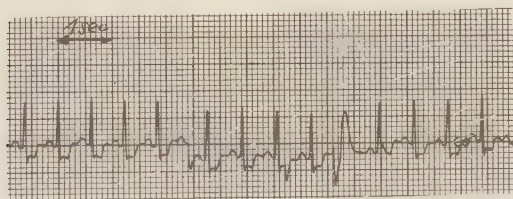
Wiedergabedauer: 220 sec

Artefakte: 24 sec

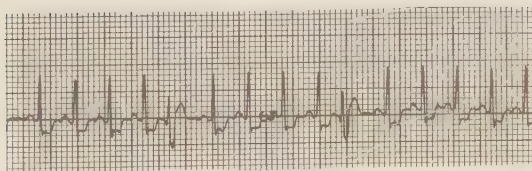
1 Zeittakt

Kommentar: Der Ausschrieb zeigt polytope ventrikuläre Extrasystolen. Alle auf dem Trommelblatt befindlichen pathologischen Signale wurden auch vom CPC 100 erkannt und gespeichert.

VES 1



VES 2



VES 3

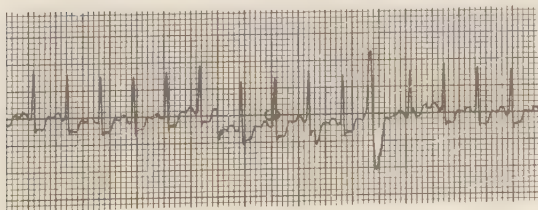


Abb. 29: Charakteristisches Untersuchungsergebnis

Fall 13:

Aufnahmedauer: 8 min

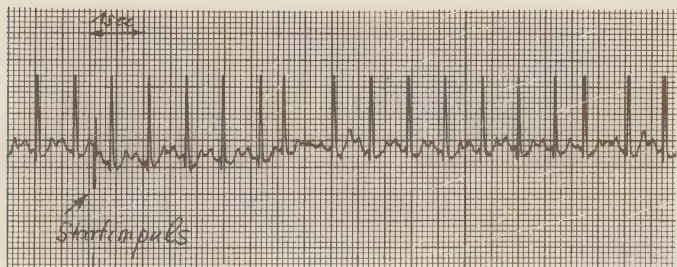
supraventr. ES: 122 sec

Wiedergabedauer: 130 sec

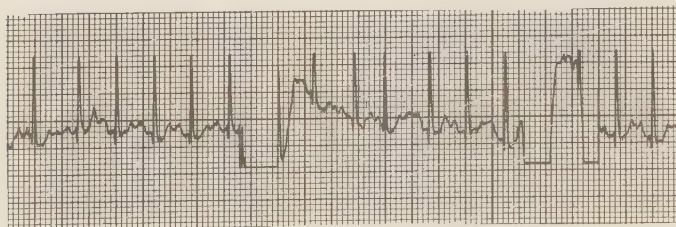
Artefakte: 8 sec

1 Zeittakt

Kommentar: Der Ausschrieb zeigt supraventrikuläre Extrasystolen. Alle auf dem Trommelblatt befindlichen pathologischen Signale wurden auch vom CPC 100 erkannt und gespeichert. Das im Bild dargestellte Artefakt entstand durch Aufrichten des Patienten im Bett.



supraventrikuläre Extrasystole



Artefakt durch Aufrichten im Bett

Abb. 30: Charakteristisches Untersuchungsergebnis

Fall 14:

Aufnahmedauer: 280 sec

polytope VES: 217 sec

Wiedergabedauer: 217 sec

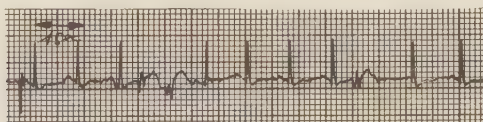
Artefakte: 0 sec

1 Zeittakt

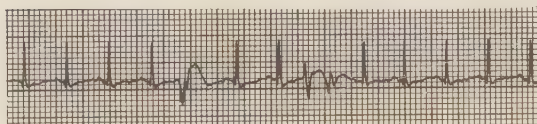
Kommentar: Der Ausschrieb zeigt polytope VES, die so oft eintrafen, daß fast eine Dauerregistrierung ausgelöst wurde. Alle auf dem Trommelblatt befindlichen pathologischen Signale wurden auch vom CPC 100 erkannt und aufgezeichnet.

VES 1

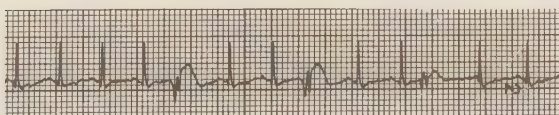
VES 2



VES 2



VES 3



VES 4

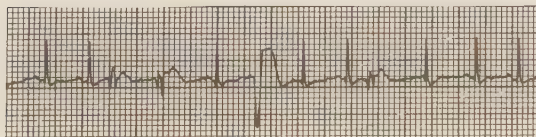


Abb. 33: Charakteristisches Untersuchungsergebnis

Fall 15:

Aufnahmedauer: 25 min

Wiedergabedauer: 85 sec

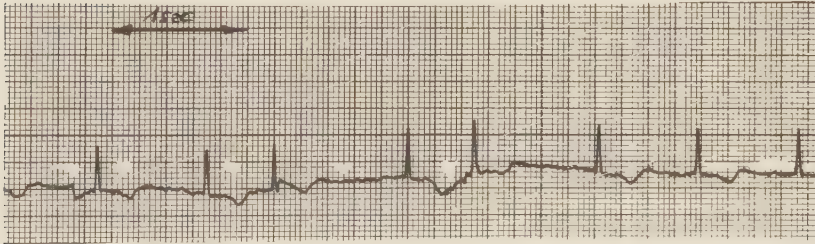
ventr. Extrasystolen: 40 sec

suprav. ES: 45 sec

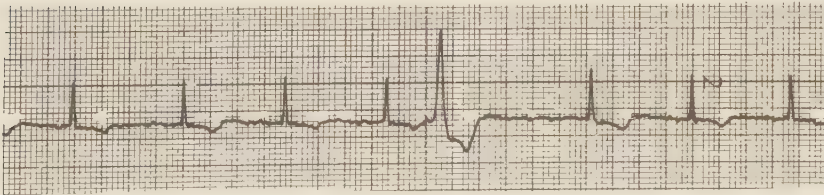
Artefakte: 0 sec

2 Zeittakte

Kommentar: Der Ausschrieb zeigt supraventrikuläre und ventrikuläre Extrasystolen. Alle auf dem Trommelblatt befindlichen pathologischen Signale wurden auch vom CPC 100 erkannt und gespeichert. Da der Patient während der Überwachungszeit ruhig im Bett lag, wurden keine Artefakte ausgelöst.



supraventrikuläre Extrasystole



ventrikuläre Extrasystole

Fall 16:

Aufnahmedauer: 10 min

AV-Rhythmus: 136 sec

Wiedergabedauer: 136 sec

Artefakte: 0 sec

Kommentar: Der Ausschrieb zeigt einen AV-Rhythmus mit vielfach einfallenden Knotenschlägen. Alle auf dem Trommelblatt befindlichen pathologischen Signale wurden auch vom CPC 100 erkannt und gespeichert.

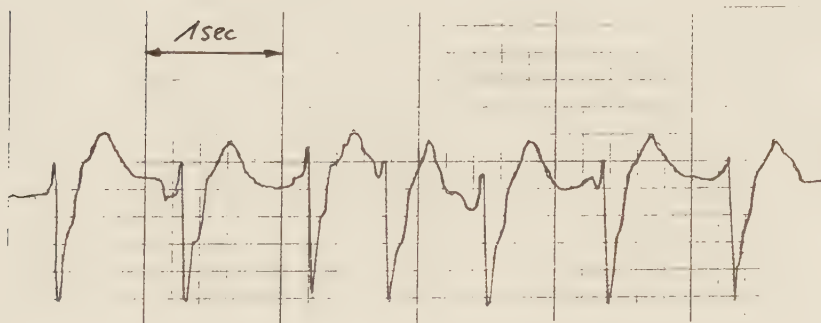


Abb. 33: Charakteristisches Untersuchungsergebnis

5.4.4. Testung des CPC 100 im mobilen Einsatz

Abschließend wurde der CPC 100 bei 4 Patienten im mobilen Einsatz getestet. Der CPC wurde dabei in einer speziellen Tragetasche am Körper getragen. Die Personen wurden angewiesen, keine schweren körperlichen Arbeiten zu verrichten, um den Anteil der Artefakte durch Muskelpotentiale und Bewegungsunruhe nicht zu groß werden zu lassen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in den Fallbeschreibungen 17 - 20 kurz dargelegt.

Eine statistische Übersicht (Tabelle 5 und 6) zeigt, daß die Wiedergabedauer im Verhältnis zur gesamten Überwachungsdauer bei den bettlägerigen Patienten aus der kardiologischen Wachstation etwa 10% und im mobilen Einsatz durchschnittlich etwa 1 - 5% beträgt. Bei Patienten, die im mobilen Einsatz untersucht werden, ist der Anteil der pathologischen Herzsignale natürlich kleiner als in einer kardiologischen Wachstation.

Im Gegensatz dazu ist der Anteil der Artefakte im Verhältnis zur gesamten Überwachungsdauer bei Untersuchungen im mobilen Einsatz durch die vermehrte Bewegung der Patienten natürlich größer als bei Untersuchung bettlägeriger Patienten in der kardiologischen Wachstation. 1% der gesamten Überwachungsdauer sind durchschnittlich Artefakte bei bettseitigen Untersuchungen, gegenüber 2% durchschnittlich bei mobilen Untersuchungen.

Fall 17:

Aufnahmedauer: 60 min

Bradykardie: 50 sec

Wiedergabedauer: 160 sec

Artefakte: 90 sec

Start: 20 sec

4 Zeittakte

Kommentar: Es wurde eine Person untersucht, die höchstwahrscheinlich keine Rhythmusstörungen hat. Der Ausschrieb zeigt keine pathologischen Signale. Nur gelegentlich tritt eine Bradykardie mit 48 bis 50 Schlägen/min auf. Der Anteil der Artefakte im Verhältnis zur gesamten Überwachungsdauer beträgt 2,5%.

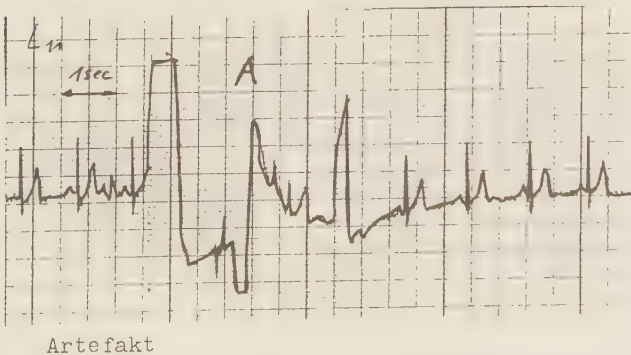
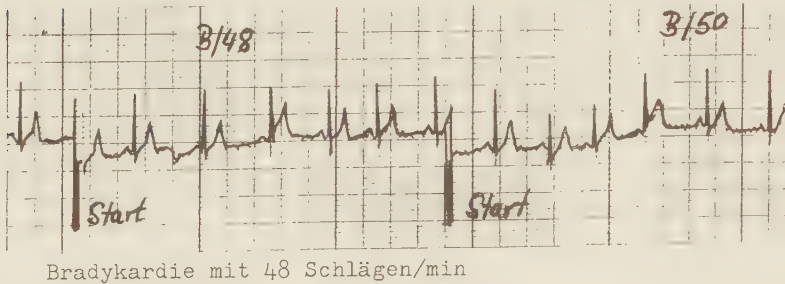


Abb 34: Charakteristisches Untersuchungsergebnis des CPC 100 im mobilen Einsatz

Fall 18:

Aufnahmedauer: 120 min

Wiedergabedauer: 340 sec

supraventr. ES: 19 sec

Bradykardie: 224 sec

Artefakte: 92 sec

Start: 5 sec

7 Zeittakte

Kommentar: Es wurde ebenfalls eine vermeintlich gesunde Person untersucht. Der Ausschrieb zeigt einige supraventrikuläre Extrasystolen und gelegentlich eine Bradykardie mit 48 bis 50 Schlägen/min. Die Elektroden wurden 1 Stunde vor Beginn der Überwachung auf der mit Alkohol abgeriebenen Haut der Versuchsperson befestigt. Auf diese Weise kann das Elektrodengel langsam in die Haut eindringen. Der Kontakt der Elektrode zur Haut wird besser und der Anteil der Artefakte im Verhältnis zur gesamten Überwachungsdauer geht zurück (1,3%).

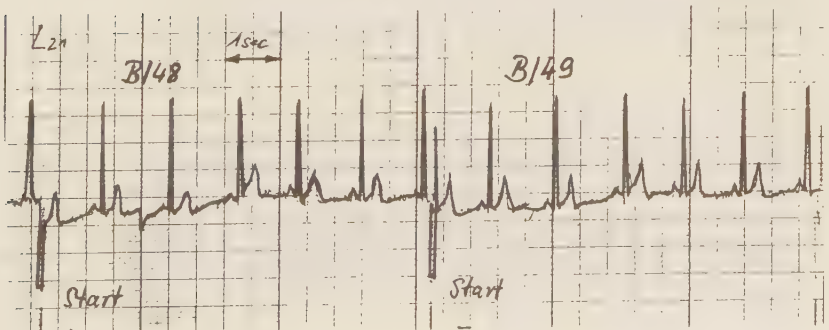


Abb. 35: Charakteristisches Untersuchungsergebnis

Fall 19:

Aufnahmedauer: 7 Stunden

Extrasystolen: 35 sec

Wiedergabedauer: 280 sec

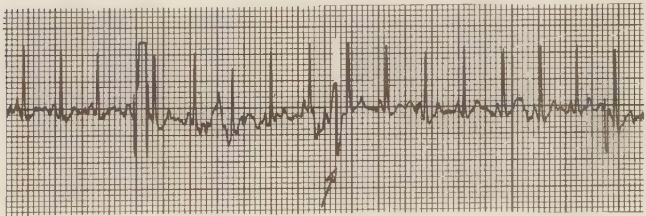
Artefakte: 240 sec

Start: 5 sec

28 Zeittakte

Kommentar: Indikation zur Langzeitüberwachung war in diesem Fall die Kontrolle einer antiarrhythmischen Therapie. Die Therapie war sehr erfolgreich, es fanden sich während der 7-stündigen Überwachungszeit nur einige wenige ventrikuläre Extrasystolen. Die Zahl der Artefakte konnte auch in diesem Fall durch gewissenhaftes Anlegen der Elektroden sehr gering gehalten werden (1% im Verhältnis zur gesamten Überwachungs-dauer).

VES



7 Zeit-
takte =
105 min
Über-
wachungs-
dauer

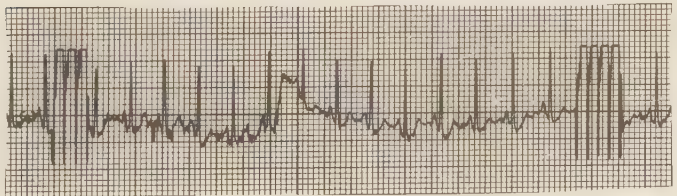


Abb. 36: Charakteristisches Untersuchungsergebnis

Fall 20:

Aufnahmedauer: 75 min

ventrikuläre ES: 128 sec

Wiedergabedauer: 128 sec

Artefakte: 20 sec

4 Zeittakte

Kommentar: Es handelt sich in diesem Fall um eine Langzeit-EKG-Überwachung während einer Schlafphase. Der Ausschrieb zeigt ventrikuläre ES, manchmal in Salven. Die Auswertung der Zeittakte zeigt, daß sämtliche Extrasystolen in einem Zeitraum von 15 Minuten einfielen (bei einer Überwachungsdauer von 75 min).

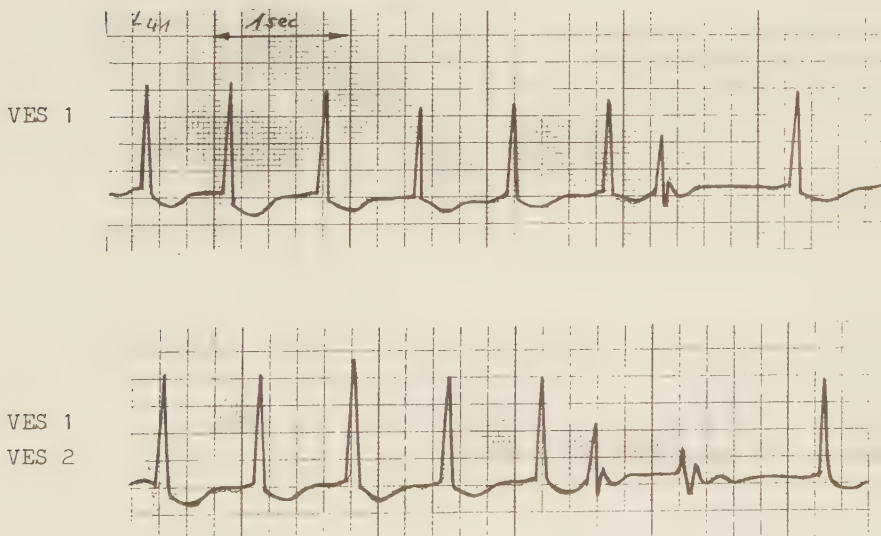


Abb. 37: Charakteristisches Untersuchungsergebnis

Fall	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	gesamt
Aufnahmedauer A t(sec)	1800	1800	3600	1800	1800	900	480	280	1500	600	14640
gesamte Wiedergabe- dauer W	196	260	10	128	120	220	130	217	85	136	1502
$\frac{W}{A}$ in %	11	14	0.2	7.1	6.6	24.4	27	77	5.6	22.6	10.2
patholog. Signale P	196	250	-	54	83	196	122	217	85	136	1339
$\frac{P}{A}$ in %	11	13.5	-	3	4.6	22	25	77	5.6	22.6	9.1
Artefakte K	-	10	10	74	37	24	8	-	-	-	163
$\frac{K}{A}$ in %	-	0.5	0.2	4.1	2.0	2.4	2.0	-	-	-	1.1

Tabelle 5: Statistische Übersicht über Aufnahme- und Wiedergabedauer im stationären Einsatz (bettlägerige Patienten)

Fall	17	18	19	20	gesamt
Aufnahmedauer A t(sec)	3600	7200	25200	4500	40500
gesamte Wiedergabe- dauer W	160	340	280	158	908
$\frac{W}{A}$ in %	4.4	4.7	1.1	3.5	2.3
patholog. Signale P	50	243	35	128	456
$\frac{P}{A}$ in %	1.4	3.4	0.1	2.8	1.1
Artefakte K	90	92	240	30	422
$\frac{K}{A}$ in %	2.5	1.3	1.0	0.7	1.1
Start	20	5	5	-	30

Tabelle 6: Statistische Übersicht über Aufnahme- und Wiedergabedauer
im mobilen Einsatz

6. Abschließende Würdigung des CPC 100 im Vergleich zum

Stand der Technik

Die oben angeführten Untersuchungen haben aufgezeigt, daß der Cardio-Patho-Cord CPC 100 zur Erkennung und Aufzeichnung zahlreicher Herzrhythmusstörungen gut geeignet ist.

Als wichtigste Indikationen zur Langzeit-EKG-Überwachung mit Hilfe des CPC 100 gelten z. B. Verdacht auf Herzrhythmusstörungen bei koronarer Herzkrankheit (vermehrte ventrikuläre Extrasystolen, Salven von Extrasystolen, kurzer Präexcitationsindex), Verdacht auf kardial bedingte zerebrale Insuffizienz (Bradykardien, Asystolien), Verdacht auf intermittierende Herzrhythmusstörungen unbekannter Genese, Überwachung von Schrittmacherpatienten und Kontrolle einer antiarrhythmischen Therapie.

Gegenüber herkömmlichen Gerätesystemen, bei denen im Überwachungszeitraum alle Signale aufgezeichnet und nachher auf pathologische Stellen hin abgesucht werden, ist die Liste der diagnostischen Aussagemöglichkeiten des CPC 100 geringfügig kleiner.

Auf Grund der Beschränkung auf die Aufzeichnung nur der pathologischen Signalverläufe und der Technik der Erkennung der pathologischen Signalverläufe (abrupte Intervalländerungen der QRS-Komplexe und zu schnelle oder zu langsame Herzschlagfolge) können natürlich keine Angaben über den Herzfrequenzverlauf während der Überwachungsperiode gemacht werden. Ebenso können keine eventuell pathologischen Signalverläufe erkannt werden, die sich nicht oder nur durch geringfügige Intervalländerungen der Kammerkomplexe manifestieren. (Intervalländerungen um weniger als 30% des jeweils letzten R-R-Intervalls)

Alle anderen bekannten Herzrhythmusstörungen können vom CPC 100 erkannt und dokumentiert werden. Der CPC 100 hat

sich im mobilen Einsatz, bei dem der Patient das Gerät mehrere Stunden in Aufnahmebereitschaft während des normalen Tagesablaufs am Körper mit sich führt, ebenso bewährt wie im stationären Einsatz am Krankenbett oder während der Schlafphase.

Je weniger pathologische Veränderungen der Herztätigkeit während des Überwachungszeitraumes auftreten und aufgezeichnet werden, desto geringer ist die Auswertearbeit. Ein typischer Befund dieser Art wäre z. B. eine intermittierende Kammertachykardie oder eine einige Sekunden andauernde Asystolie. Hier ist ein besonderer systemischer Vorteil des CPC 100 gegenüber herkömmlichen Geräten zur Langzeit-EKG-Überwachung zu erkennen, bei denen in jedem Fall die gesamte Herztätigkeit aufgezeichnet und danach auf pathologische Signale abgesucht werden muß.

Treten sehr viel pathologische Signale oder immer wieder die gleichen pathologischen Veränderungen während der Überwachungsphase auf, so verlängert sich die Auswertezeit bei Verwendung des CPC 100 natürlich entsprechend. In diesem Fall bieten Wiedergabegeräte einen Vorteil, die auf Grund vorher einstellbarer Kriterien die Auswertung und Einordnung der aufgezeichneten Signale halbautomatisch bewerkstelligen. Dieser Vorteil muß jedoch mit einem um ein Vielfaches höheren Preis dieser Wiedergabegeräte gegenüber dem CPC 100 teuer erkauft werden.

Als Wiedergabegeräte für die auf dem CPC 100 gespeicherten Signale kommen handelsübliche Monitoren und EKG-Schreiber in Frage, die sowieso in den meisten Krankenhäusern und internistischen Fachpraxen vorhanden sind.

Als empfehlenswert zur Auswertung der auf dem CPC 100 gespeicherten Signale hat sich folgende Technik herausgestellt: die Signalfolge wird vorerst auf einem Monitor abgespielt und begutachtet, bei wichtigen Ereignissen wird ein EKG-Schreiber

in Gang gesetzt, der die Befunde dokumentiert.

Als besonders heikles Problem bei der Langzeitüberwachung der Herztätigkeit besonders im ambulanten Einsatz erweist sich immer wieder das Auftreten von Artefakten durch Elektrodenlockerung, Muskelpotentiale, mechanische Einwirkung auf die Elektroden und elektrische oder magnetische Störsignale.

Viele Artefakte können vom CPC 100 nicht von pathologischen Signalverläufen unterschieden werden und lösen einen Registrierungsstörung aus. Artefakte sind zwar im allgemeinen von normalen oder pathologischen Herzsignalen sehr wohl zu unterscheiden, sie verlängern jedoch die Auswertearbeit teilweise beträchtlich.

Auch herkömmliche automatische Auswertegeräte sind oft nicht in der Lage, Artefakte als solche einzuordnen. Bei Auftreten von Artefakten wird dann entweder der automatische Auswertevorgang gestoppt, was die Bearbeitungsdauer verlängert, oder Artefakte werden fälschlicherweise als pathologische Signale angesehen und dementsprechend verarbeitet.

Es empfiehlt sich daher in jedem Fall, den Patienten anzuweisen, während des Überwachungszeitraums keine harte körperliche Arbeit auszuführen, und beim Anlegen der Elektroden größte Sorgfalt walten zu lassen. Der dadurch entstehende vermehrte Zeitaufwand wird bei weitem durch weniger Störsignale bei der Auswertung wieder hereingeholt.

Die Auswertezeit beträgt beim CPC 100 je nach Anzahl der aufgezeichneten pathologischen Signale und Artefakte in den meisten Fällen zwischen 2% und 15% des Überwachungszeitraumes. Das entspricht einer 7 - 50 fachen Zeitraffung.

Herkömmliche Gerätesysteme mit Aufnahmegegeräten und zusätzlichen, teilweise automatischen Wiedergabegeräten erlauben eine 10 - 120 fache Zeitraffung. Ihr Anschaffungs-

preis ist etwa 7 - 10 mal höher als der Preis des CPC 100.

Es bleibt zu hoffen, daß der CPC 100 gerade wegen seines vergleichsweise günstigen Preises hilft, die Langzeit-EKG-Überwachung einer breiteren Anwendung zuzuführen.

7. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird ein vom Autor neu entwickeltes, besonders für den mobilen Einsatz geeignetes Gerät zur Erkennung und Aufzeichnung von Herzrhythmusstörungen im Vergleich zum Stand der Technik vorgestellt.

Einleitend wird eine kurze pathophysiologische Einteilung der verschiedenen Typen von Herzrhythmusstörungen vorgenommen und die wichtigsten Indikationen zur Langzeit-EKG-Überwachung erläutert.

Es folgt eine Beschreibung der verschiedenen heute gebräuchlichen technischen Einrichtungen zur Langzeit-Herzüberwachung mit einer Beurteilung der diagnostischen Aussagekraft der einzelnen Verfahren.

Der Hauptpunkt der Arbeit beinhaltet die Beschreibung des Cardio-Patho-Cord CPC 100.

Der CPC 100 unterscheidet sich von herkömmlichen Geräten zur Langzeit-EKG-Überwachung dadurch, daß bereits während der Aufnahme der Herztätigkeit am Körper des Patienten eine Datenselektion durchgeführt wird. Nur die von einer speziellen Auswerteelektronik als pathologisch erkannten Signale werden auf einem Magnetband abgespeichert; überflüssige Informationen während klinisch unbedeutsamer Phasen werden nicht aufgezeichnet, wodurch sich die Auswertezeit für eine mehrstündige Patientenüberwachung drastisch reduziert.

Funktionsweise und Technik des CPC 100 werden an Hand von Blockschaltbildern dargestellt.

Es folgt die Beschreibung und Auswertung der Erprobung, die mit einem EKG-Simulator, als auch an vielen Patienten durchgeführt werden konnte.

Den Abschluß der Arbeit bilden ein erster Erfahrungsbericht über den praktischen Einsatz, sowie ein Vergleich des

CPC 100 mit heute gebräuchlichen technischen Einrichtungen zur Langzeit-EKG-Überwachung hinsichtlich diagnostischer Aussagekraft und Preis.

8. Literaturverzeichnis

- (1) Bleifer, Hansmann, Shepard, Karpman
Diagnosis of Occult Arrhythmias by Holter Electrocardiography
Pr. Cardiovascular diseases Vol XVI, N 6, (1974)
- (2) Breithardt, Gleichmann
Erfahrung mit der automatischen Erfassung von Extrasystolen durch Hybridcomputer auf der Intensivstation
Z. Kardiologie 62, 526, (1972)
- (3) Breithardt, Loogen
Langzeittherapie von Herzrhythmusstörungen
Z. Kardiologie 63, 5, (1974)
- (4) Dietz, Kirchhoff
Die Variationsbreite von Herzrhythmusstörungen bei Herzgesunden
Z. Kardiologie 62, 4, (1973)
- (5) Dittrich
Telemetrische EKG-Diagnostik bei Herz- und Kreislaufkranken
MMW 115, Nr. 40 (1973)
- (6) Fitzgerald
Early post-infarction ambulatory monitoring and exercise-testing in detection of arrhythmias
Am. Journal of Cardiology 35:136 (1975)
- (7) Filgran
Value of Holter Monitoring in assessing Cardiac Arrhythmias in symptomatic patients
Am. Journal of Cardiology 37: 102 (1976)
- (8) Giesen, Schuler
Der CPC 100, ein neues Gerät zur Langzeit-EKG-Überwachung
MMW 9 (1979)
- (9) Goldberg, Paferty, Cashman
Ambulatory electrocardiographic records in patients with transient cerebral attacks or palpitation
British Medical Journal 569 (1975)

- (10) Gooch, Mc Connell
Analysis of transient arrhythmias and conduction disturbances occurring during submaximal treadmill exercise testing
Prog. Cardiovascular Dis. 13:293 (1970)
- (11) Harrison
Contribution of ambulatory electrocardiographic monitoring to antiarrhythmic management
Am. Journal of Cardiology 5 (1978)
- (12) Mc Henry, Fisch, Jordan
Cardiac arrhythmias observed during maximal treadmill exercise testing in clinically normal men
Am. Journal of Cardiology 29:331 (1972)
- (13) Hindman
WPW-Syndrom observed by portable monitoring
Am. intern. Med. 79:654 (1973)
- (14) Hinkle, Carvor, Stevens
The frequency of asymptomatic disturbances of cardiac rhythm and conduction in middle-aged men
Am. Journal of Cardiology 24:629 (1969)
- (15) Holter
New method of heart studies: continuous electrocardiography of active subjects over long periods is now practical
Science 134, 1214 (1961)
- (16) Hewlett-Packard
Echtzeit-Überwachungssystem von Hewlett-Packard
- (17) Ingham
Ambulatory electrocardiographic monitoring in idiopathic hypertrophic subaortic stenosis
Circulation 52; Suppl. 2:93 (1975)
- (18) Isaeff
WPW-Syndrom: long term monitoring for arrhythmias
J. Am. Med. Ass. 222:449 (1972)

- (19) Johansson
Long term ECG in ambulatory clinical practice
Eur. J. Cardiology 5/1, 39 (1977)
- (20) Krieger, Engel
Häufigkeit und Art von Rhythmusstörungen bei Patienten
mit chronisch koronarer Herzkrankheit
Z. Kardiologie 65, 157 (1976)
- (21) Kühn, Kroiss, Joskowicz
Arrhythmieanalyse - Arrhythmieüberwachung
Z. Kardiologie 65, 166 (1976)
- (22) Kuller, Fischer
Epidemiological study of sudden and unexpected death
due to arteriosclerotic heart disease
Circulation 34:156 (1966)
- (23) Lipski, Cohen, Hotro, Dack
Value of Holter Monitoring in Assessing Cardiac
Arrhythmias in symptomatic patients
Am. Journal of Cardiology 37, 102 (1976)
- (24) Lown, Ruberman
The concept of pre-coronary care
Mod. Concepts Cardiovasc. Dis. 19 - 1165 (1970)
- (25) Lown, Wolf
Approaches to sudden death from coronary heart disease
Circulation 44:130 (1971)
- (26) Lopes
Comparison of 24 versus 12 hours of ambulatory
EKG-monitoring
Chest 67:269 (1975)
- (27) Mann, Burchell
Premature ventricular contractions and exercise
Proc. Staff Meet Mayo Clinic 27, 383 (1952)
- (28) Mattingly
The postexercise electrocardiogram: its value in the

diagnosis and prognosis of coronary arterial disease

Am. Journal of Cardiology 9:395 (1962)

(29) Moss

The posthospital phase of myocardial infarction: identification of patients with increased mortality risk

Circulation 49:460 (1974)

(30) Moss, De Camilla, Hoffman

Arrhythmic indicators of long term survival and late death after myocardial infarction

Am. Journal of Cardiology 13:148 (1973)

(31) Moss, De Camilla, Hoffman

Arrhythmic indicators of cardiac death during the post-hospital phase of myocardial infarction

Circulation 46:II (1972)

(32) Neilson

High speed analysis of ventricular arrhythmias from 24-hour recordings

Computers in Cardiology I EEE
Catolog Nr. 74 CH0879-7c (1974)

(33) Oliver

Ventricular arrhythmias associated with sudden death in survivors of acute myocardial infarction

Am. Jorنال of Cardiology 33:160 (1974)

(34) v. Olshausen, Mäurer

Technik und Anwendung der Langzeit-EKG-Registrierung
Internistische Welt 5, 145 (1978)

(35) Ryan, Lown, Horn

Comparison of ventricular ectopic activity during 24-hour monitoring and exercise testing in patients with coronary heart disease

New England Yournal of Medicine 224 (1975)

(36) Samek

Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit mit koronärer

Herzerkrankung

Herz u. Kreislauf 6, 172 (1974)

(37) Seipel, Breithardt

Überwachung der antiarrhythmischen Langzeittherapie

Herz u. Kreislauf 7, 117 (1975)

(38) Siegenthaler

Pathophysiologie 606

(39) Stein

Ambulatory long term electrocardiography the "LCG"

Am Heart Journal 88, 37 (1974)

(40) Vetter, Julian

Am. Heart Journal 1151 (1975)

(41) Walter

Transient cerebral ischemia due to arrhythmias

Am. intern. Med. 72:471 (1970)

(42) Winkle

Arrhythmias in patients with mitral valve prolapse

Circulation 52, 73 (1975)

(43) Wirtzfeld, Baedeker

Rhythmusstörungen des Herzens

(44) Wolf

Comparison of exercise testing and 24-hour ambulatory
electrocardiographic monitoring in detection of
ST-T-changes

British Heart Journal 36, 90 (1974)

Bei meinem Betreuer, Privat-Dozent Dr. Wirtsfeld möchte ich mich an dieser Stelle für die mir zu Teil gewordene Betratung und Unterstützung bei Anfertigung der Doktorarbeit sehr herzlich bedanken.

Lebenslauf

Ich wurde am 2. April 1950 als Sohn von Alexander Schuler und seiner Frau Berta in München geboren. Nach Besuch der Grundschule und des Kurt-Huber-Gymnasiums in Gräfelfing erhielt ich 1969 das Zeugnis der Reife. Im gleichen Jahr begann ich an der TU-München das Studium der Elektrotechnik, das ich 1974 als Diplomingenieur abschloß. Ebenfalls 1974 erhielt ich einen Medizinstudienplatz an der LMU-München. Im April 1981 konnte ich das Medizinstudium erfolgreich abschließen. Das Praktische Jahr absolvierte ich in Großhadern (Innere Medizin und Radiologie) und in Harlaching (Chirurgie).

Neben dem Medizinstudium beschäftigte ich mich am Lehrstuhl für Integrierte Schaltungen der TU-München bei Prof. Ruge mit medizinisch-technischen Problemen. Meine Hauptaufgabe bestand in der Entwicklung eines neuartigen Gerätes zur Erkennung und Registrierung von Herzrhythmusstörungen. In der 1. Medizinischen Klinik der TU (Prof. Blömer) hatte ich die Gelegenheit, mit der praktischen Erprobung dieses Gerätes meine Pormotionsarbeit zum Doktor der Medizin zu machen.

